Revue générale des Sciences
pures et appliquées
et Bulletin de la Société Philomathique
T. LIX Nos 3-4 1952

CHRONIQUE ET CORRESPONDANCE

L'enseignement des méthodes générales de la logique

La logique a été longtemps regardée comme une discipline un peu spéciale. Il y a de cela une trentaine d'années, les mathématiciens n'avaient cure de la rendre accessible à leurs élèves. Un changement s'annonce en 1926, lorsqu'apparaît dans le Mémorial des Sciences Mathématiques (fasc. XV) un bon exposé de Stanislas Zaremba.

On s'explique le fossé qui, longtemps, a subsisté entre algèbre et logique. Si toutes deux sont des sciences formelles, il n'en reste pas moins que les logiciens ignorent souvent la théorie des équations et que la plupart des algébristes n'ont jamais réfléchi aux figures et aux modalités possibles du syllogisme. Aujourd'hui, on voit se rapprocher l'algèbre et la logique, du fait qu'à partir de la considération des ensembles, l'algèbre moderne introduit des types opératoires très larges, où se trouvent englobées les opérations logiques. D'où l'attention des mathématiciens aux progrès récents apportés par les continuateurs de Boole, Frege, Schröder, dans leurs cours destinés aux étudiants de licence.

Dans ce sens ont été publiés, ces dernières années, divers ouvrages par MM. Marcel Boll (Dunod), Jean Piaget (A. Colin), Ch. Serrus (Aubier), Aug. Sesmat (Hermann), pour ne parler que de traités en langue française.

Le moment est venu de commenter brièvement divers livres récents, dont chacun apporte sur ce terrain des contributions importantes.

Citons d'abord les *Leçons de logique formelle* de M. Joseph Dopp (1950). Elles pourront intéresser un public vraiment large, car elles exposent, sous forme aussi élémentaire que possible, les développements gradués donnés par l'auteur sur les principaux chapitres de la logique, dans sa chaire de l'Université de Louvain :

cela devant des auditeurs de formation en général littéraire. Ces matières ont été réparties en trois volumes (1) :

Première partie : Logique ancienne. - La Logique des jugements prédicatifs.

Deuxième partie : Logique moderne. - I : Le Calcul des propositions inanalysées.

Troisième partie : Logique moderne. - II : Logique des propositions à une ou plusieurs mentions d'objets.

Dans l'antiquité et au moyen âge, se rapprochant en cela des diverses sciences, la logique s'est développée à la faveur d'un idéal *d'intelligibilité philosophique*. Au début de la période moderne, les savants ont progressivement renoncé à cette tendance pour lui préférer un idéal de *science positive* : depuis un siècle environ, les logiciens (à partir de Boole) se sont orientés dans la même voie, en s'appliquant à soumettre les problèmes de logique à certains processus de calcul, convenablement adaptés. C'était la reprise d'une idée dont Leibniz avait, sans plus, amorcé la réalisation. Le traité de M. Joseph Dopp est donc aménagé d'une manière conforme à l'ordre historique. L'exposé de la logique ancienne s'inspire de l'enseignement de M. Mansion, et celui de la logique moderne, des travaux de M. Robert Feys.

L'auteur n'a retenu de la logique ancienne que sa partie la plus achevée, à savoir la logique des jugements de prédication (inférences et syllogismes catégoriques). Là même, il a beaucoup élagué et s'en tient délibérément à une interprétation minimale du jugement de prédication. Il laisse donc de côté les jugements de nature philosophique, plus à leur place dans une logique spécifiquement orientée vers les jugements modaux. D'autres points sont omis, pour cette seule raison : l'équivalent s'en trouve, dans un cadre plus complet et, d'emblée, accessibles, vers le début de la troisième partie.

Le point de départ réside en la recherche des formes de raisonnements qui sont valables pour des jugements de structure absolument quelconque. Elle est menée à bien en recourant successivement à deux méthodes indépendantes. La première se fonde sur la théorie dite *des matrices*, étant convenu que :

1° tout jugement a au moins une valeur de vérité ;

2° aucun jugement n'a plus d'une valeur de vérité ;

3° il n'y a que deux valeurs de vérité différentes.

Ces suppositions fondamentales permettent alors de construire ce que l'auteur appelle *la logique des propositions inanalysées*, en la distinguant des logiques nouvelles, à plus de deux valeurs. Cette méthode, la plus facile, repose sur un calcul dont les arguments sont

(1) Joseph Dopp. — *Leçons de logique formelle* (Coll. des cours publiés par l'Institut de philosophie de l'Université de Louvain). 3 vol. de 22 × 15 cm., avec XII-166 pp., XII-216 pp. et XVI—271+16 pp. Nauwelaerts, Louvain, 1950. Prix global : 350 francs belges.

des *variables propositionnelles*, représentant des propositions indéterminées. On leur fera correspondre des fonctions, qui vont représenter aussi des propositions, et qu'on peut appeler à ce titre, des *fonctions propositionnelles*. Ici, s'introduisent des *foncteurs*, indiquant comment on transforme une ou plusieurs variables propositionnelles en une expression propositionnelle dont la valeur de vérité est fonction de cette ou ces variables. Les foncteurs sont définis par des matrices qui permettent de différencier les deux valeurs admises dans le système en primant, il va de soi, la valeur *vrai*. La théorie ainsi construite aboutit, par exemple, à montrer que les fonctions de vérité dont l'évaluation par matrices ne comporte que la valeur *vrai*, indépendamment des valeurs de vérité attribuées aux variables peuvent servir de schémas de raisonnements contraignants : ce qu'on obtient, en effet, de cette manière, ce sont les identités qui expriment les lois logiques des propositions.

La seconde méthode conduit à développer le calcul axiomatique des propositions, en s'attachant à choisir un système d'axiomes qui soit tel que chaque axiome puisse déployer ses conséquences indépendamment de certains autres ou même, globalement, de tous les autres axiomes. On renonce alors à faire un appel explicite aux valeurs de vérité. En outre, les axiomes sont ici traduits au moyen des symboles de calcul. Après examen d'autres méthodes classiques de calcul pour la logique des propositions, l'auteur montre comment les résultats de ces méthodes se situent par rapport à la logique ancienne.

La troisième partie élargit le calcul des propositions inanalysées, afin de pouvoir tenir compte éventuellement de la mention d'un objet concret figurant dans ces propositions, comme aussi de la mention d'un objet déconcrétisé par généralisation. On parvient ainsi à un calcul par lequel on peut déterminer les lois des propositions prédicatives, tant concrètes que générales, qui ont fait l'objet de la seconde moitié du premier volume. Dans le calcul des propositions inanalysées, exposé au second volume, on ne pouvait exploiter que l'identité des significations globales de certaines propositions. Le calcul élargi du t. III parvient à exploiter l'identité d'objets mentionnés dans ces propositions et l'identité de termes analogues aux *prédicats* des propositions prédicatives, concrètes ou générales. Ayant exposé les principes du calcul élargi, et examiné quelques règles ou théorèmes qui lui sont propres, l'auteur montre la portée logique de ce processus ; il étudie les opérations relevant de la logique des propositions à deux mentions d'objets et les propriétés formalisables des relations. Il développe d'autres calculs, par exemple, celui qui se rapporte aux descriptions (existentielles, problématiques) d'objets singuliers (qu'on s'efforce d'atteindre, de désigner, par telle propriété qui les caractérise). L'ouvrage se termine par un programme pour une étude ultérieure (logiques non classiques, théorie des systèmes formels), par une large bibliographie, suivie d'une table des locutions techniques, d'une table des symboles et d'une table générale des matières.

Je passe maintenant aux *Leçons de Logique algébrique*, qui furent également professées à Louvain, pendant l'année académique 1950-51, par un mathématicien américain, apprécié pour les conférences qu'il a données à Paris de temps à autre. C'est M. Haskell B. Curry (2), professeur au Pensylvania State College. Pour se faire une juste idée de l'importance de cet ouvrage, il suffit d'en suivre la belle préface, écrite par M. Robert Feys, évoquant au départ Couturat et son « *Algèbre de la logique* », à la distance d'un demi-siècle, et d'autres ouvrages plus récents en langue française, parmi lesquels le « *Précis de logique mathématique* » du P. Bochenski (Coll. Synthèse, 1949, Bussum, Pays-Bas) et « *Les fondements logiques des Mathématiques* », de Beth (1950), ouvrant la série qui nous occupe.

M. Robert Feys montre à quel titre l'ouvrage de M. H.-B. Curry nous rapproche du point de vue de Couturat, mais en prenant une forme naturelle et rigoureuse, du fait que les algèbres logiques y sont présentées comme des systèmes formels ; et qu'en outre, l'édifice des algèbres logiques est construit par adjonction progessive d'axiomes (voir infra). Ainsi se dégagent successivement, comme sous-systèmes de l'algèbre classique, une série de logiques algébriques plus faibles.

L'idée de recours à un système formel, introduite par M. H.-B. Curry, idée qui se réalise en construisant les objets à étudier par un *processus récursif*, à l'aide de certaines opérations et selon des règles convenues, évite le double écueil du nominalisme et d'un réalisme platonicien. Cette idée permet de construire l'algèbre logique d'une manière progressive, en utilisant les résultats synthétisés dans le traité de M. Garrett Birkoff sur les *lattices* (ou treillis) (3).

C'est dans ce cadre très précis que s'inscrit cet exposé de haut style et de grande élégance, qui abolit toute distinction tranchée entre logique mathématique et algèbre abstraite, et ramène directement aux thèmes les plus familiers de la logique classique ; par ailleurs, la logique intuitioniste y ressort avec la même netteté.

Je ne veux pas manquer de signaler un très bon livre de M. Paul Rosenbloom, sur les *Eléments de la Logique Mathématique* (4). C'est par la logique des classes que s'en amorce l'exposé : cela présente l'avantage de ramener le lecteur à ses connaissances familières sur les ensembles et opérations formelles. Ainsi apparaît le rôle important de l'algèbre de Boole, rôle qui s'affirme dans l'analyse des systèmes déductifs. Puis, ayant montré ce qu'ap-

(2) H. B. Curry. — *Leçons de logique algébrique*. Un in-8° (16 × 25) de 183 pp. dans la Collection de logique mathématique dirigée par Madame P. Destouches. Février (Gauthier-Villars, Paris, 1952). Prix : 1.600 francs.

(3) Vol. 25 des *Amer. Math. Soc. Colloquium Publications* (2e édition : 1950). Analysé dans cette Revue, tome 57, nos 1-2, p. 40 (année 1950).

(4) P. C. Rosenbloom. — *The Elements of mathematical Logic*. New-York, Dower Publication, 1951. Un vol. 12 × 19 de 224 pp. Prix : 2,95 dollars.

porte la notion de fonction propositionnelle, l'auteur explicite la *structure* même de ce qu'est une théorie, construite à partir de notions primitives dont découlent les autres concepts. Dans cette voie, sont confrontées logique des classes et logique des propositions. Les difficultés signalées par Gödel au sujet de l'absence d'un système formel apte à épuiser tous les modes de raisonnement exige par ailleurs une analyse mathématique du langage, considéré tour à tour sous son aspect usuel et sous son aspect symbolique, ce qui amène l'auteur à dégager la véritable portée des théorèmes d'indécidabilité.

Il est à présumer qu'on gagnera beaucoup à la lecture comparée de ces trois ouvrages, entre lesquels un rapide regard suffit à montrer d'intéressantes connexions. Leur tendance commune à écarter les jugements modaux se trouve compensée dans une étude toute récente de M. René Poirier (1). En abordant les modalités, on ne s'en tient plus à l'affirmation, à la négation pures et simples. On rencontre le nécessaire, le possible, le contingent, l'impossible, nuances susceptibles, si l'on n'y prend garde, d'introduire des équivoques. En fait, comme le montre l'auteur, il faut à ce tournant remonter aux principes de la logique, et voir clairement la distinction qui s'impose entre logique symbolique (ou calcul logique), logique du monde réel, logique des certitudes mentales. Avec son concept unique de négation, la logique traditionnelle ne donne qu'une certaine approximation de la réalité psychologique. Elle est par là même inapplicable aux problèmes de la mathématique ; voilà donc une des raisons qui amènent M. René Poirier à rechercher une approximation plus fine. Par exemple, il montre l'opportunité de distinguer entre une *négation de droit* et une *négation de fait*, entre autres, à l'occasion de cet énoncé concernant un théorème en discussion :

Il est *exclu* que le théorème *ne soit pas établi.* Ce libellé, qui vient remplacer la formule simpliste d'après laquelle deux négations valent une affirmation, place le lecteur devant des questions nouvelles, pour le rallier très vite à l'enquête et aux constructions si riches de M. René Poirier.

G. Bouligand.

(1) *Logique et modalité, du point de vue organique et physique*, fasc. 1163 des Act. sc. et ind. Hermann, 112 p., Paris, 1952. (Prix : 800 fr.).

Quelques réflexions sur la notion de point matériel

par Jean ABELÉ

Docteur ès Sciences - Chargé de Recherches au C. N. R. S.

Dans l'Introduction qu'il écrivit pour l'édition française de *La Mécanique*, d'Ernst Mach, Emile Picard n'hésitait pas à reconnaître, à propos de cette science, « combien certaines expositions traditionnelles, longtemps indiscutées, présentent d'incohérence. A parler franc, ajoutait-il, on peut se demander si une exposition bien cohérente est possible dans un premier enseignement de la mécanique » (1).

Les réflexions que nous soumettons à nos lecteurs, concernant la notion de *point matériel*, s'inspirent de cette remarque et tendent à confirmer le doute qu'elle exprime. Voici comment le maître que nous venons de citer introduisait cette notion dans le Cours de mécanique qu'il professait à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures : « Etudions d'abord, disait-il, le mouvement d'une portion de matière assez petite pour qu'on puisse la regarder, sans erreur sensible, comme réduite à un point ; c'est ce que nous appellerons un *point matériel* » (2).

Le point ainsi défini se distingue d'un point géométrique en ce qu'il possède *une masse* et corrélativement, quelle que soit la définition donnée de la masse, *un volume*. Mais ce dernier est supposé assez petit pour pouvoir être assimilé à un point. Tout degré de petitesse est relatif à un certain ordre de grandeur. Il y aura donc lieu, dans chaque problème relevant de la dynamique du point matériel, de préciser la dimension spatiale prise comme référence et de fixer par rapport à sa grandeur le volume maximum attribuable au point matériel. Prenons comme exemple le « pendule simple », constitué par une petite sphère d'un métal dense suspendue à un point fixe par un fil inextensible, dont la masse est négligeable par rapport à celle de la sphère. Le diamètre de cette sphère devra, à son tour, être négligeable par rapport à la longueur du fil qui matérialise le rayon de courbure de la trajectoire. Il est clair que le maximum de ce diamètre, compatible avec un taux de validité déterminé des formules

---

(1) *La Mécanique*, par Ernst MACH, traduction d'Emile Bertrand, introduction d'Emile Picard. Paris, Hermann, 1904. *Introduction*, p. V.

(2) *Quelques réflexions sur la Mécanique*, suivies d'une *Première Leçon de Dynamique*, par Emile PICARD. Paris, Gauthier-Villars, 1902, p. 33.

déduites de la théorie, n'est pas le même pour un pendule d'un mètre et pour le pendule de soixante-sept mètres que Foucault fit osciller au Panthéon en 1851. Négliger est moins simple que nier (3).

Jusqu'ici, l'exposé est cohérent. Les difficultés vont naître au passage de la dynamique du point à la dynamique du *corps solide*, sur la base de la définition qu'en donne la cinématique : un corps solide est un *ensemble de points* dont les distances mutuelles sont invariables. Les points considérés par la cinématique sont — nous verrons plus loin pourquoi — des *points géométriques* dénués d'étendue et leur ensemble est *transfini* ; comment répartir entre eux la masse totale du solide pour appliquer à chacun d'eux les théorèmes de la dynamique du point et obtenir par sommation, compte tenu des liaisons introduites par la définition du corps solide, les théorèmes de la dynamique valables pour celui-ci ?

Ce problème se pose en particulier quand on aborde la notion de *moment d'inertie par rapport à un axe*, notion indispensable à l'étude dynamique du mouvement de rotation. Mais un problème analogue se pose en Statique dans l'étude de la notion de *centre de gravité* et l'usage se répand de plus en plus de grouper ces deux études, sous le nom de *géométrie des masses*, dans un exposé indépendant qui forme, comme la *géométrie des vecteurs* et la cinématique elle-même conçue comme une *géométrie du mouvement*, une introduction géométrique à la mécanique proprement dite, qui se réduit alors à la Statique et à la Dynamique.

La solution de ce problème repose sur l'introduction de la notion de *densité ponctuelle*. Considérons dans un corps solide, autour d'un point quelconque dont la position est déterminée par des coordonnées x, y, z, relatives à un système d'axes lié au corps, un volume v possédant une masse m. Si le corps est homogène, le rapport m/v est le même en tout point et il est indépendant de la grandeur du volume considéré. C'est la *densité* du corps.

Si le corps n'est pas homogène, ce même rapport définit la *densité moyenne* dans la région qui entoure le point considéré. La densité moyenne dépend de la situation de cette région et de la grandeur du volume considéré ; sa détermination est donc doublement imprécise. Une précision complète sera obtenue en faisant tendre vers zéro le volume v par une concentration progressive autour du point de coordonnées x, y, z. La limite vers laquelle tend la densité moyenne définit alors la *densité ponctuelle* au point (x, y, z). L'existence de cette limite présuppose un postulat, celui de la *continuité*. Son adoption par la mécanique classique est d'autant plus justifiée

(3) La dynamique du corps solide permet de préciser davantage et d'introduire une correction dans les formules démontrées par la dynamique du point. Elle aboutit, dans le cas du pendule, à la formule suivante $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}\left(1+\frac{2r^2}{5l^2}\right)}$ dans laquelle r est le rayon de la sphère, l la distance du centre au point de suspension, Si r = 1 centimètre et l = 1 mètre, le terme correctif est 2/50.000 et l'erreur sur la période environ 1/50.000, si l'on supprime le terme correctif.

que nous renonçons d'avance à appliquer celle-ci aux ultimes constituants de la matière et qu'à l'échelle où sa validité est reconnue la discontinuité due à ces constituants est d'un ordre trop petit pour que l'hypothèse de la continuité introduise une erreur appréciable.

La densité ponctuelle étant définie comme une fonction des coordonnées de position d'un point quelconque à l'intérieur du solide, le produit de cette densité par un élément de volume infiniment petit englobant ce point en détermine la masse, qui est elle-même infiniment petite, à un infiniment petit d'ordre supérieur près. On peut alors définir diverses intégrales triples, à l'aide desquelles la géométrie des masses démontre plusieurs théorèmes et résout divers problèmes.

De ce qui précède nous ne retiendrons qu'une proposition, sur laquelle nous fonderons tous nos raisonnements ultérieurs : *Pour pouvoir attacher une masse à un point géométrique d'un corps solide, en vue de l'étude dynamique de ses mouvements, il faut attribuer au préalable à ce point un volume, c'est-à-dire une triple dimension spatiale.* A l'association de ce point et de ce volume infiniment petit nous donnerons le nom de « *point dimensionnel* », que nous empruntons à M. Dimitri Riabouchinsky (4).

Le problème de cohérence qui se pose alors à nous est le suivant : la dynamique du corps solide emprunte leurs conclusions à trois disciplines qui la préparent, la cinématique, la géométrie des masses, la dynamique du point. Or, chacune de ces disciplines utilise une définition préalable du point *différente* : le point géométrique, le point dimensionnel, le point matériel. N'y a-t-il pas là une source d'incohérence ?

*
**

Pour en décider, examinons d'abord les caractères communs et les caractères différentiels de ces trois espèces de points.

Ce qui conduit l'esprit à réduire les corps matériels à des points ou à des assemblages de points, c'est le souci de préciser *la position* occupée à un instant déterminé par le mobile dont on étudie le mouvement. Or, comme le remarque J. Boussinesq, « les *points* sont les seuls êtres géométriques dont la situation soit précise ou puisse s'exprimer nettement au moyen de trois *quantités simples*, de trois *longueurs : x, y, z*. Autrement dit, la *distance*, qui est par excellence, dans les phénomènes, la chose mesurable, n'a de sens que lorsqu'elle relie deux points » (5).

---

(4) *Le point euclidien et le point dimensionnel.* Note de M. Dimitri Riabouchinsky. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, t. 227, 1948, p. 885.

(5) *Leçons synthétiques de Mécanique générale*, par J. Boussinesq. Paris, Gauthier-Villars, 1889. 1re leçon, n° 4.

Cette préoccupation se retrouve dans les trois définitions que nous comparons. Mais elle est *exclusive* de toute autre considération dans la définition du *point géométrique*, tandis que les deux autres définitions visent à associer à la position du mobile son caractère d'*être matériel*, précisé lui-même par une grandeur dont une expérience et une réflexion de plusieurs siècles ont révélé l'importance : *la masse*.

L'association la plus simple de la position et de la masse est réalisée dans la définition du *point matériel*, au prix, il est vrai, d'une certaine imprécision consentie sur la détermination de la situation de ce point. Avec la masse, en effet, un volume *fini* est attribué au point matériel. Si sa forme est géométriquement définie, comme celle d'une sphère, et, si une restriction est apportée à ses dimensions, l'imprécision peut être réduite à un ordre de petitesse déterminé, des deux notions précédentes, en premier lieu du fait que la position de chaque point doit être simultanément rapportée à deux systèmes de référence distincts, le premier lié au mobile, le second associé à l'espace concret où celui-ci se meut. La géométrie des masses ne s'occupe que du premier, mais elle ne présente d'intérêt qu'en vue de la dynamique du corps solide qui considère les deux. De plus, comme dans le cas du point matériel, l'attribution d'une masse à chaque point du corps entraîne celle d'un volume. Mais, comme masse et volume sont cette fois des infiniment petits, l'imprécision relative à l'un ou à l'autre système de référence est inférieure à toute quantité *arbitrairement petite*. Le souci de précision est donc pleinement satisfait, sans être pour autant exclusif.

*
**

Ces précisions étant données, nous pouvons maintenant, en tenant compte des caractères qui différencient les trois espèces de points ci-dessus définis, poser le problème de leur cohérence dans l'étude dynamique des mouvements du corps solide.

Voyons d'abord ce qui résulte de la substitution du point dimensionnel au point matériel, lorsqu'on passe de la dynamique du point à la dynamique du corps solide. Nous n'avons plus maintenant affaire à un seul point, mais à un ensemble de points. Chacun d'eux est doué de masse, mais d'une masse infiniment petite. Enfin, leur nombre dans un solide quelconque est infiniment grand, au sens de l'analyse mathématique, mais non pas transfini comme l'ensemble des points d'un segment. La masse totale du corps est égale à la somme des masses de ses points dimensionnels.

Seule la grandeur de la masse distingue le point dimensionnel du point matériel, mais la valeur particulière de ce coefficient n'intervient jamais soit dans les définitions, soit dans l'énoncé des principes, soit dans les déductions de la dynamique du point. L'attri-

bution simultanée à tous les points dimensionnels du corps solide des propriétés du point matériel ne se heurte donc à aucune difficulté et, en tenant compte des liaisons résultant de la définition même du corps solide, les ressources de l'analyse mathématique suffisent pleinement à assurer l'extension à celui-ci des théorèmes fondamentaux de la dynamique du point.

La seule difficulté sérieuse va surgir de la confrontation du point *géométrique* et du point *dimensionnel*. Pour montrer que cette difficulté est bien réelle, il importe de déceler la *raison profonde* pour laquelle la cinématique du corps solide *doit faire appel à la notion de point géométrique*.

La raison apportée par Boussinesq dans le texte cité plus haut est absolument insuffisante. La nécessité de la *précision* à apporter dans la détermination des distances séparant les différents points du solide ou parcourues par eux dans ses mouvements est aussi bien satisfaite avec la notion de point dimensionnel qu'avec la notion de point géométrique. La vraie raison qui oblige, non seulement à « négliger », mais à « nier » l'étendue du point dont s'occupe la cinématique, est la nécessité de *définir sans ambiguïté les mouvements de translation et de rotation du corps solide*.

Rappelons, pour nous en convaincre, la définition classique de ces mouvements. Le premier est défini par la condition qu'au cours du mouvement une droite joignant deux points *quelconques* du solide se déplace en restant constamment parallèle à elle-même. Le second est défini par la condition qu'au cours du mouvement deux points *déterminés* du solide restent fixes. Cette dernière définition, jointe à l'invariabilité des distances mutuelles des points du solide, entraîne que : 1° tous les points situés sur la ligne droite joignant les deux points fixes sont eux-mêmes fixes ; leur ensemble forme l'*axe de rotation* ; 2° tous les points situés en dehors de cet axe décrivent des circonférences dont les centres se trouvent sur l'axe ; 3° tous les rayons de ces différentes circonférences décrivent dans le même temps des angles égaux. La loi d'évolution de la valeur commune de ces angles, exprimée par une relation de la forme $\theta = f(t)$, renseigne complètement sur le mouvement de rotation.

Les trois propriétés que nous venons d'énoncer, strictement déduites de la définition donnée du mouvement de rotation, nous le rendent pleinement intelligible comme *l'ensemble des mouvements circulaires de points mobiles liés entre eux, autour de centres fixes alignés sur une même droite*.

Si maintenant nous substituons aux points géométriques des « points dimensionnels », nous allons introduire dans cette définition une véritable ambiguïté.

Considérons, en effet, autour d'un point géométrique quelconque, situé en dehors de l'axe fixe, une petite sphère homogène découpée par la pensée dans le corps solide. Il est facile de voir que

son mouvement dans l'espace peut être considéré comme résultant de la composition de deux mouvements : un mouvement de *rotation* de cette sphère autour d'un axe mobile mené par son centre parallèlement à l'axe fixe et un mouvement circulaire de *translation* de cet axe mobile autour de l'axe fixe. Si l'on fait tendre vers zéro le rayon de la petite sphère — opération de pensée qui constitue précisément la définition du point dimensionnel — ces deux mouvements persistent *inchangés* et doivent donc être, à la limite, attribués *tous deux* au point dimensionnel. Chaque point du solide, situé sur l'axe fixe ou en dehors, est ainsi animé d'une rotation de nature identique mesurée par l'angle décrit, au cours d'un intervalle temporel arbitraire, par un segment de droite infiniment petit normal à une parallèle à l'axe fixe passant par ce point.

Les points dimensionnels du corps solide en rotation se répartissent dès lors en deux classes, l'une formée des points qui sont sur l'axe et qui sont animés uniquement d'un mouvement de rotation sur eux-mêmes, l'autre formée des points qui sont situés hors de l'axe et qui possèdent, outre ce même mouvement de rotation sur eux-mêmes, un mouvement de translation le long de trajectoires circulaires centrées sur l'axe fixe.

Nous sommes amené, en conséquence, à distinguer deux espèces de rotations. Nous appellerons *rotation élémentaire* la rotation des points dimensionnels sur eux-mêmes et *rotation d'ensemble* le mouvement global du solide tout entier. La rotation d'ensemble d'un corps solide se compose des rotations élémentaires de tous ses points et d'un système de translations circulaires de ceux qui sont situés hors de l'axe fixe. Nous pouvons donc conclure que le terme « rotation », employé sans tenir compte de la distinction que nous venons d'introduire, est *un terme ambigu.*

Deux questions se posent alors, que nous allons examiner brièvement. 1° Doit-on chercher à éliminer cette ambiguïté ? On le peut, nous l'avons vu, en instituant une cinématique purement géométrique qui considère le mouvement d'un point rigoureusement dénué d'étendue. La rotation élémentaire disparaît et il ne subsiste que la rotation d'ensemble. Mais le problème n'est que déplacé, on le retrouve au passage de la cinématique à la dynamique quand on introduit la notion de masse et quand on utilise les théorèmes de la géométrie des masses. Mieux vaut, nous semble-t-il, le mettre en évidence que le dissimuler par omission.

2° Comment se fait-il que la dynamique classique puisse faire cette omission sans qu'il en résulte d'inconvénient ? La réponse est simple, mais paradoxale.

Il suffit de réfléchir, d'une part, sur la définition du *travail d'une force*, ainsi que sur le principe des travaux virtuels et le rôle qu'il joue en mécanique, d'autre part, sur le *principe de l'inertie*, pour se convaincre qu'une dynamique fondée sur ces bases est autorisée à négliger les rotations élémentaires et à ne considérer, sous

le terme ambigu de rotation, que le seul système des translations circulaires, parce que *seul ce système comporte travail et inertie.*

Pour vérifier cette affirmation, calculons l'énergie cinétique d'un solide tournant, en faisant la somme de l'énergie de translation et de l'énergie de rotation de chacune des parties en lesquelles on peut le décomposer. Tant que ces parties sont en nombre fini, leur énergie de rotation n'est pas négligeable, au moins strictement, vis-à-vis de leur énergie de translation. Mais, si l'on fait croître indéfiniment le nombre des parties, le rapport de l'énergie de rotation à l'énergie de translation de chacune d'elles *tend vers zéro* (6). L'énergie totale est alors donnée par une intégrale dont la valeur n'est pas affectée par la suppression, sous le signe somme, de l'énergie infinitésimale de rotation.

*
**

La justification que nous venons de donner ne peut être apportée qu'après un exposé de la dynamique et à la suite d'une réflexion portant sur ses fondements. Dans un premier enseignement, il convient de procéder plus sommairement en acceptant sans critique la définition du mouvement de rotation donnée par une cinématique géométrisée. Ainsi se trouve confirmé le doute exprimé par Emile Picard, dans le texte cité au début de cet article, sur la possibilité d'un premier enseignement cohérent de la mécanique.

Mais il nous faut faire maintenant un pas de plus et nous demander si cette simplification de la notion de rotation est pleinement satisfaisante pour l'esprit. Elle ne peut manifestement l'être qu'aux yeux de qui accepte de voir dans la mécanique classique une doctrine exacte et complète des conditions du mouvement dans le monde matériel. Or, nous savons aujourd'hui que cette doctrine cesse d'être exacte, d'une part, à l'échelle de l'univers, d'autre part, à l'échelle de l'atome. Il serait dès lors quelque peu naïf d'affirmer qu'à l'échelle intermédiaire elle recouvre complètement la réalité du monde de la perception et suffit à la rendre pleinement intelligible.

En nous référant à notre propre perception, nous nous rendons compte facilement qu'autre chose est, sans quitter la place que nous occupons, de nous tourner successivement vers les quatre points cardinaux et de faire ainsi défiler devant nos yeux la totalité de l'horizon, et autre chose de quitter, sans changer d'orientation, notre place actuelle pour une autre. Nous pouvons, il est vrai, changer

(6) Soit ω la vitesse angulaire de rotation, l la distance à l'axe fixe du centre d'inertie d'une particule de masse m, r son rayon de giration autour d'un axe mené par son centre d'inertie parallèlement à l'axe fixe. L'énergie de rotation de cette particule a pour expression $1/2\ mr^2\ \omega^2$ et l'énergie de translation $1/2\ ml^2\ \omega^2$. Le rapport de la première à la seconde est r^2/l^2 et tend bien vers zéro en même temps que r.

simultanément de place et d'orientation, mais, quoique simultanés, ces deux changements n'en sont pas moins de nature différente. C'est le cas en particulier de chaque partie, située loin de l'axe, d'un corps solide en rotation. Elle est semblable à l'enfant assis sur le cheval de bois d'un manège, qui joint au plaisir d'une promenade à cheval l'étourdissement de voir le champ de foire tourner autour de lui.

Notre perception nous livre donc l'existence de deux types de changements relatifs à l'espace, la *translation* et la *rotation, irréductibles l'un à l'autre*, en égard à la nature des relations avec le milieu ambiant qu'ils modifient, relations de *proximité* dans le premier cas, relations d'*orientation* dans le second.

Une autre différence remarquable contribue encore à opposer ces deux types de changement relatifs à l'espace, celle du *choix du repère* le plus propre à rendre chacun d'eux sensible et mesurable.

Soit à déterminer une *translation* très petite, par rapport à un point de repère choisi comme origine d'un système de coordonnées. Le procédé de détermination le plus simple consiste à décomposer cette translation en deux composantes, l'une dirigée vers le point de repère, l'autre perpendiculaire à cette direction. La première est égale à la variation subie au cours du déplacement par la distance qui sépare le point mobile du point de repère ; la seconde est approximativement donnée par le produit de la valeur moyenne de cette distance par l'angle décrit par le vecteur joignant le point mobile au point de repère. Or, plus le point de repère est éloigné, plus diminue la valeur relative de la variation de la distance du mobile à ce point et plus diminue aussi l'angle sous lequel, du point de repère, est vu l'intervalle franchi. Comme toute mesure concrète comporte une approximation limitée, on en conclut qu'une translation de grandeur donnée échappe à toute possibilité de détermination précise lorsque l'éloignement du point de repère croît au-delà d'un certain ordre de grandeur.

Il en va tout autrement pour la mesure de l'angle définissant une *rotation*. Cette mesure, effectuée, par exemple, au moyen d'un théodolite, se ramène à une mesure d'arc et la précision de cette mesure dépend uniquement de la grandeur du rayon de la circonférence matérielle à laquelle appartient l'arc mesuré, nullement de la distance du point de repère visé dans la lunette du théodolite. Ce point, une étoile, par exemple, peut être situé aussi loin que le permet l'intensité de la lumière qu'il émet. On en conclut que la précision de la mesure d'une rotation est indépendante de l'éloignement du point de repère.

Il y a là un privilège de la rotation vis-à-vis de la translation dont les conséquences, bien connues d'ailleurs, méritent de retenir un instant notre attention.

On sait que l'angle sous lequel on voit d'une étoile le demi-diamètre de l'orbite parcourue par la terre dans son mouvement de

translation autour du soleil, angle qu'on appelle *parallaxe annuelle* de cette étoile, est, pour les étoiles les plus rapprochées de nous, inférieur à un angle d'une seconde (*Proxima Centauri*, éloignée de 4,27 années-lumière, possède une parallaxe égale à 0", 762). Quelques centaines seulement de parallaxes ont pu être déterminées par observation directe ; les autres étoiles de notre galaxie sont trop éloignées pour posséder une parallaxe déterminable par des mesures trigonométriques. En prenant ces étoiles lointaines comme système de référence, le mouvement de rotation de la terre se trouve complètement dégagé de son mouvement de translation, lequel n'est déterminable avec précision que vis-à-vis d'un système de référence dont l'origine est fixée au centre du soleil. C'est de la différence de ces systèmes de référence que découle la différence entre le temps sidéral et le temps solaire vrai.

A fortiori est négligeable, à l'échelle de notre galaxie, le système des *translations circulaires* des points matériels de notre globe autour de la ligne des pôles, tandis qu'à la même échelle subsistent intégralement leurs *rotations élémentaires*.

Une conséquence pratique très appréciable de ce fait est que la rotation de la monture équatoriale d'une lunette ou d'un téléscope autour de *son axe* compense la rotation en sens inverse de la terre autour de l'*axe terrestre*, aussi parfaitement qu'il est possible et requis, malgré l'écartement existant entre ces deux axes.

Mais la conséquence théorique de ce fait est assurément paradoxale. *Ce qui, du mouvement de rotation de la terre, devient négligeable à l'échelle galactique, est précisément cela seul que retient le concept de rotation de la mécanique classique ; réciproquement, ce qu'il laisse échapper est précisément ce qui seul subsiste aux yeux de l'astronome d'observation.*

Tel est le paradoxe qui résulte de l'ambiguïté de la notion de point, que les pages précédentes ont essayé de mettre en lumière.

*
**

Nous voudrions, pour mettre le point final à ces réflexions, montrer leur incidence sur le problème de la *relativité du mouvement*, tel qu'il a été posé par Mach dans son célèbre ouvrage : *La Mécanique*, auquel nous avons déjà fait plus haut allusion en citant la préface qu'Emile Picard a écrite pour lui.

On sait que, dans ce livre, Mach critique fortement la conception de l'espace absolu de Newton et propose de substituer à la conception de cet espace fictif celle de *l'univers entier*. « Dire, écrit-il, qu'un corps conserve sa vitesse et sa direction dans *l'espace* est simplement une manière abrégée de s'en référer à *l'univers entier* » (*La Mécanique*, traduction Bertrand, p. 226).

Il refuse, d'autre part, de voir avec Newton dans l'existence des forces centrifuges un argument en faveur du caractère absolu des

rotations : « D'après moi il n'existe, somme toute, qu'un mouvement relatif et je n'aperçois à cet égard *aucune* distinction entre la rotation et la translation. Une rotation relative aux *étoiles fixes* fait naître dans un corps des forces d'éloignement de l'axe ; si la rotation n'est pas relative aux étoiles fixes, ces forces d'éloignement n'existent pas » (op. cit., p. 231).

Les réflexions des pages qui précèdent nous autorisent à critiquer à notre tour la critique de Mach et à rectifier sur un point ses affirmations. En adoptant, d'un point de vue méthodologique, sa conception de la relativité du mouvement et son attitude d'esprit essentiellement pragmatique, nous ferons remarquer que, compte tenu de la diminution de précision que subit la détermination d'une translation lorsqu'on recule l'origine du système de référence auquel on la rapporte, il est impossible d'étudier effectivement une translation de grandeur inférieure aux distances planétaires en la rapportant à un système lié aux étoiles fixes et, *a fortiori*, à un système lié à l'ensemble des galaxies qui composent l'univers.

Descartes nous paraît avoir très bien défini le mouvement de translation lorsqu'il écrivait dans *Les Principes* : « Si... nous désirons savoir ce que c'est que le mouvement... nous dirons... qu'il est *le transport d'une partie de la matière, ou d'un corps, du voisinage de ceux qui le touchent immédiatement, et que nous considérons comme en repos, dans le voisinage de quelques autres* » (*Les principes de la philosophie*, Ed. Adam et Tannery, p. 76). Seuls, en effet, les corps proches fournissent un système de référence techniquement utilisable pour déterminer une translation. D'autre part, comme l'a bien vu le philosophe, l'immobilité que nous leur supposons est conventionnelle, car elle n'est justifiée que par la considération d'un mobile particulier dont le mouvement est arbitrairement isolé par l'esprit de l'ensemble des mouvements des corps de l'univers.

La considération de *l'univers entier* permet, il est vrai, d'échapper dans une certaine mesure à cette relativité cinématique du mouvement. Dans l'hypothèse d'un univers fini, celui-ci ne saurait se mouvoir d'un mouvement d'ensemble, rien n'existant en dehors de lui par rapport à quoi un tel mouvement serait concevable. D'autre part, les observations astronomiques nous montrent que pendant d'assez longs intervalles de temps, les distances mutuelles des étoiles les plus lointaines de notre galaxie restent constantes à l'approximation des mesures. Leur ensemble se comporte donc comme un solide, le *solide stellaire*, que l'on peut considérer comme un substitut pratique de l'univers entier, lequel est un concept expérimentalement inutilisable (7).

(7) Cf. J. L. Destouches : *Principes de la mécanique classique*, p. 53. Les étoiles ne formant un solide qu'en première approximation, l'auteur propose, en vue d'une seconde approximation, d'associer un trièdre au *solide principal* d'un assez vaste ensemble d'étoiles. Cf. p. 74 et suiv.

Toutefois, nous avons fait observer plus haut que, par rapport à ce système de référence, *les angles seuls sont mesurables avec précision.* En fait, les clichés astronomiques ne fournissent que des mesures d'angles. A partir de ces angles, et en y adjoignant comme base l'orbite terrestre, on peut mesurer les distances des étoiles proches. Quant aux astres lointains, *on estime plutôt qu'on ne mesure* leurs distances, le plus souvent à partir de données photométriques et spectroscopiques.

Ainsi, en admettant avec Mach que l'univers entier, ou son substitut : le solide stellaire, peut être considéré comme équivalent à l'espace absolu de Newton, c'est-à-dire constitue un *système privilégié*, il convient d'ajouter aussitôt que *seules les rotations peuvent lui être effectivement rapportées.* Quant aux translations, elles ne peuvent être déterminées avec précision que par rapport aux corps proches et ceux-ci ne peuvent être considérés comme immobiles que provisoirement, conformément à une certaine hiérarchie des divers mouvements étudiés.

Il est donc inexact de dire avec Mach que, du point de vue de la relativité du mouvement, il n'y a « aucune distinction entre la rotation et la translation ». Avant même d'introduire la notion d'inertie et la considération des forces d'inertie, antérieurement par suite au passage de la cinématique à la dynamique, la rotation jouit déjà d'un privilège vis-à-vis de la translation. La dynamique ne fait que confirmer ce privilège, pour des raisons d'ailleurs indépendantes.

Cette confirmation s'est faite historiquement en deux temps. La dynamique newtonienne privilégiait encore, en même temps que les rotations, les translations accélérées ; seules les translations rectilignes et uniformes conservaient la totale relativité qu'elles possèdent en cinématique. Mais le principe de l'équivalence d'un champ d'accélération et d'un champ gravifique, fondé par Einstein sur l'identité expérimentalement reconnue de la masse pesante et de la masse inerte, attribue le même caractère de relativité à toutes les translations. Quant aux rotations, il est clair que la théorie einsteinienne de la gravitation conserve leur privilège ; disons plus exactement que, vis-à-vis d'elles, et d'elles seules, *l'univers entier constitue encore un système privilégié*, par suite de la relation posée entre la courbure moyenne de l'espace-temps et la *densité moyenne de la matière mondiale.* On retrouve ainsi, sous une formulation différente, la pensée juste et profonde de Mach. Cette pensée a reçu une nouvelle consécration et un plus ample développement avec la théorie de l'expansion de l'univers.

Jean ABELÉ.

La théorie électronique des acides et des bases

Application à l'étude des mécanismes réactionnels en chimie organique

par Y. TRAMBOUZE

Professeur de Chimie Analytique
à l'Ecole Supérieure de Chimie Industrielle de Lyon

Introduction

Lorsqu'en 1877 Arrhénius découvrit le phénomène d'ionisation en solution aqueuse, il émit la première théorie scientifique des acides et des bases. Selon cette théorie, tout composé qui, dissous dans l'eau, forme des ions H^+ ou OH^-, est un acide ou une base. Dans ce cas, la réaction acide-base de neutralisation se schématise de la façon suivante :

$$\underset{\text{acide}}{HA} + \underset{\text{base}}{BOH} \rightarrow \underset{\text{sel}}{BA} + \underset{\text{eau}}{H_2O}$$

Cette théorie qui, pendant de nombreuses années, fut universellement adoptée, se révéla insuffisante lorsque de nouveaux faits furent découverts. C'est ainsi que le caractère basique des amines, la possibilité de titrer certains composés dans des solvants non aqueux et le comportement acide ou basique de divers oxydes ne pouvaient être expliqués selon les idées d'Arrhénius.

C'est alors qu'en 1923 et simultanément, Bronsted et Lowry tentèrent de généraliser les idées d'Arrhénius en proposant la *théorie des protons*. D'après ces auteurs, un acide est un composé capable de fournir des protons et une base, une substance capable de les accepter. Cette notion d'acide et de base pouvait alors s'étendre, non seulement aux molécules, mais aussi aux cations et aux anions. Par exemple, un acide sera :

une molécule neutre $HCl + NH_3 \rightarrow NH_4Cl$

un cation $NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_4OH$

un anion $HSO_4^- + OH^- \rightarrow HOH + SO_4^{--}$

Cette théorie reconnaît l'existence d'un très grand nombre de bases, elle ne fait pas intervenir le solvant, mais elle est incapable de s'appliquer aux systèmes non protoniques.

Cependant, la théorie de Bronsted, comme celle d'Arrhénius, implique la présence d'hydrogène, or, de nombreuses observations expérimentales montrent que cet élément ne confère pas obligatoirement le caractère acide. De nombreux chercheurs développèrent alors une ancienne théorie qu'avait émise Franklin en 1905 (1) sous le nom de « *théorie des solvants* ». Cet auteur avait repris les critères d'Arrhénius en les appliquant aux substances dissoutes dans l'ammoniac liquide et avait admis que ce solvant s'ionisait en ions ammonium NH_4^+ et amidure NH_2^-. Ainsi, des corps tels que NH_4Cl et $Na\,NH_2$ seront respectivement acide et base et donneront lieu à une réaction de neutralisation identique à celle observée en milieu aqueux :

$$\underset{\text{acide}}{NH_4Cl} + \underset{\text{base}}{NaNH_2} \rightarrow \underset{\text{sel}}{NaCl} + \underset{\text{solvant}}{2\,NH_3}$$

Cady et Elsey (2) généralisèrent cette théorie en définissant un acide et une base comme des solutés capables de former un cation et un anion caractéristiques du solvant. Ces définitions s'appliquent à des milieux non protoniques comme le montre l'exemple ci-dessous :

$$\underset{\text{acide}}{AlCl_3} + \underset{\text{solvant}}{COCl_2} \rightarrow \underset{\text{cation (caractéristique du phosgène).}}{COCl^+} + AlCl_4^-$$

Pour la première fois, Smith (3) en 1938, proposa une définition qui, bien que dérivée des précédentes, fait intervenir le point de vue que Lewis avait émis quinze ans auparavant. Pour Smith, en effet, un acide est une substance capable d'accepter une paire d'électrons provenant du solvant, et une base, un composé susceptible de fournir une paire d'électrons au solvant.

Dans un esprit de synthèse, Usanovitch (4) en 1939, émit une théorie dite « *positive-négative* » qui devait concilier celles de Bronsted et de Franklin. Selon cette théorie, un acide est un composé capable de donner un cation ou de se combiner à un anion ; une base est une substance capable de donner un anion ou de se combiner à un cation. Ainsi, le sulfure d'antimoine est un acide, car il peut se combiner à l'anion sulfure selon la réaction :

$$Sb_2S_5 + 3\,S^{--} \rightarrow 2\,SbS_4^{---}$$

Mais la meilleure synthèse des théories du proton et des solvants, celle qui jusqu'alors a pu rendre compte de tous les faits observés, est due à G. N. Lewis qui, dès 1923, jeta les premières bases de la *théorie électronique des acides et des bases*. Ainsi, avant même que Bronsted et Lowry, Smith et Usanovitch aient formulé leurs théories, Lewis en avait fait une synthèse admirable qui les contenait toutes (5).

Lewis choisit quatre critères expérimentaux simples à la base de ses définitions des acides et des bases. Ces quatre « critères phénoménologiques » sont :

1° *Neutralisation.* Les acides et les bases peuvent se combiner entre eux plus ou moins rapidement.

2° *Titration avec des indicateurs.* Acides et bases peuvent être titrés les uns par les autres en présence de substances, généralement colorées, appelées indicateurs.

3° *Déplacement.* Un acide ou une base peut, en général, déplacer un acide ou une base plus faible de ses composés.

4° *Catalyse.* Les acides et les bases agissent fréquemment comme catalyseurs.

Lewis, en s'appuyant seulement sur les deux premiers critères, fit une expérience remarquable par sa simplicité et son élégance et qui illustre bien la validité et la généralité de sa théorie. Il utilisa la neutralisation et la titration des bases par des acides en présence de violet cristallisé comme indicateur (6). Cet indicateur a la propriété de donner le même changement de coloration quelle que soit la substance employée comme solvant. Quand la soude est titrée par l'acide chlorhydrique, en milieu aqueux, la solution violette en milieu basique vire au jaune en milieu acide. La pyridine et la triéthylamine qui peuvent se titrer de la même façon sont donc des bases. Si la pyridine est dissoute dans un solvant inerte, le chlorobenzène, par exemple, on obtient une solution violette qui vire au jaune quand on ajoute du chlorure de bore ou d'étain. Par conséquent, ces chlorures sont des acides. Par un choix convenable du solvant et de l'indicateur, on peut ainsi démontrer le caractère acide ou basique des substances classées comme acides ou comme bases selon les théories précédentes.

Il ressort de ces observations qu'il y a une différence fondamentale entre les acides et les bases, différence qui ne dépend ni du solvant ni de la présence d'un élément particulier. En examinant les propriétés communes à tous les acides et à toutes les bases, Lewis conclut que seule la configuration électronique de ces substances peut nous renseigner sur la différence fondamentale qui les sépare, et remarque que les acides et les bases correspondent respectivement à ce que Sidwick (7) appelle des *accepteurs* et des *donneurs*. La neutralisation est donc la formation de liaison de coordination entre l'acide et la base. La réaction type de neutralisation s'écrira :

$$H^+ + :\ddot{O}:H^- \longrightarrow H:\ddot{O}:H$$

et l'action du chlorure de bore sur l'ammoniac, par exemple :

$$\begin{matrix} Cl & & H & & Cl\,H \\ Cl:\ddot{B} & + & :\ddot{N}:H & \longrightarrow & Cl:\ddot{B}:\ddot{N}:H \\ Cl & & H & & Cl\,H \end{matrix}$$

D'où les définitions de Lewis :

Un acide est un accepteur d'une paire d'électrons.
Une base est un donneur d'une paire d'électrons.

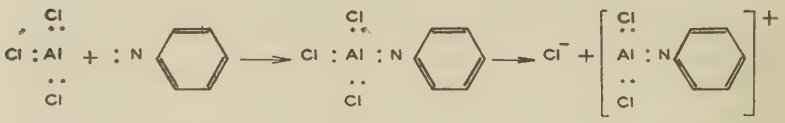
Soulignons dès maintenant que dans les réactions de neutralisation il s'agit de la mise en commun d'une *paire d'électrons* et non d'un

échange d'électrons comme dans le cas de phénomènes d'oxydo-réduction.

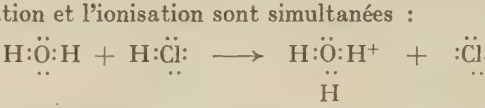
Exposé général de la théorie électronique de Lewis sur les acides et les bases

Universalité de la théorie électronique.

D'après les définitions précédentes, la neutralisation est donc la formation d'une liaison de coordination. Le produit peut être soit une composé covalent, soit un sel, si la neutralisation est accompagnée ou suivie de l'ionisation. Ainsi, lorsqu'on fait réagir la pyridine sur $AlCl_3$, il y a neutralisation puis ionisation selon les réactions :



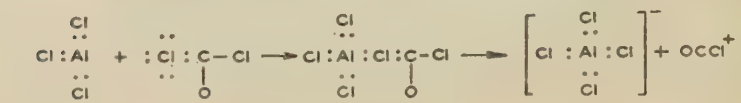
Par contre, dans l'action de HCl sur l'eau, la formation de la liaison de coordination et l'ionisation sont simultanées :



Nous verrons plus loin un exemple où nous n'avons que le phénomène de neutralisation, c'est-à-dire obtention d'un composé covalent.

L'exemple précédent montre que la théorie de Bronsted n'est qu'un cas particulier de celle de Lewis. En effet, la coordination et l'ionisation simultanées se traduisent par un mécanisme identique au transfert de proton. Les bases de la théorie de Bronsted acceptent le proton parce qu'elles ont une paire d'électrons qui peut servir à la formation de liaisons de coordination. Toutes ces bases peuvent, par conséquent, se combiner à d'autres molécules « accepteurs » selon le même processus qu'avec le proton.

La théorie des solvants n'est aussi qu'un cas spécial de la théorie électronique. Si l'on considère, par exemple, la réaction :



l'augmentation de la concentration du cation du solvant due à l'addition d'acide, peut s'expliquer par la théorie de Lewis. En effet, les acides s'unissent avec l'anion du solvant parce que cet ion possède une paire d'électrons isolée qu'il peut mettre en commun avec l'atome central de la molécule acide ; l'ion négatif disparaissant, la concentration de l'ion positif augmente.

Les composés considérés comme des acides et des bases selon la théorie de Bronsted et celle des solvants, le seront donc aussi selon Lewis.

Extension des phénomènes acide-base.

En principe, toutes les substances accepteurs ou donneurs d'une *paire* d'électrons peuvent être considérées comme acides et comme bases. L'augmentation incessante de la liste des bases de Lewis nous amène à admettre l'idée que la plupart des atomes ou groupes d'atomes peuvent agir comme base vis-à-vis d'un acide suffisamment fort. Ainsi, *les gaz inertes peuvent agir comme des bases* en donnant une ou plusieurs paires d'électrons de leur octet à des acides forts. Booth et Wilson (8) ont d'ailleurs réussi à isoler des composés d'addition de l'argon avec le fluorure de bore.

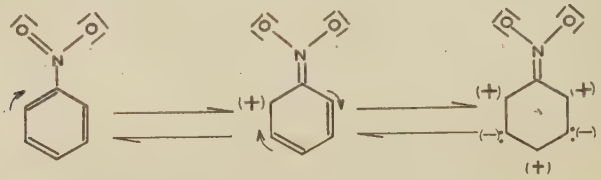
Le nombre de substances qui peuvent, en certaines circonstances, se comporter comme des acides, est également illimité, d'autant plus que la présence d'un octet complet n'empêche pas forcément un atome de se comporter comme accepteur, les halogénures de silicium ou de bore en sont un remarquable exemple, puisque l'on connaît les composés $SnCl_6^{--}$ et SiF_6^{--}, par exemple.

D'autre part, on sait que certaines substances sont amphotères, et ce caractère particulier s'explique fort bien à l'examen des formules électroniques. Ainsi, l'alumine se comporte comme un acide parce que l'atome central peut accepter une paire d'électrons, mais il peut également se comporter comme une base, ses atomes d'oxygène pouvant fournir une paire d'électrons à un acide. Si cette explication est exacte, HCl devra également se comporter comme une base, puisque le chlore possède trois paires d'électrons libres, et, en effet, Sisler et Andrieth (9) ont montré que HCl pouvait former des composés d'addition avec des acides tels SO_3 et $SnCl_4$.

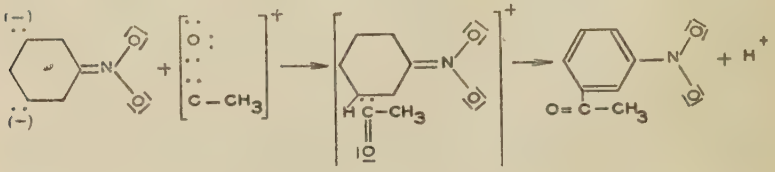
Une autre extension de la notion d'acide et de base s'applique aux radicaux de la chimie organique. Dans l'explication des mécanismes réactionnels de la chimie organique, la théorie de Lewis apporte des éclaircissements tels qu'aucune autre théorie n'a pu en apporter. Nous verrons plus loin les phénomènes de catalyse acide et basique, nous n'étudierons pour l'instant que l'effet des radicaux acides ou basiques sur les substitutions dans les noyaux aromatiques.

Radicaux acides. — Le caractère acide de certains groupements tels CO, SO_3H^-, NO_2, etc..., est attribué au déplacement d'une paire d'électrons qui résulte d'un déficit électronique sur un atome. Cet atome devient alors acide.

On s'explique alors pourquoi de tels groupements favorisent la formation d'un dérivé méta lors d'une substitution ultérieure. Considérons, par exemple, le nitrobenzène. On aura, d'après ce qui précède, la transformation suivante :

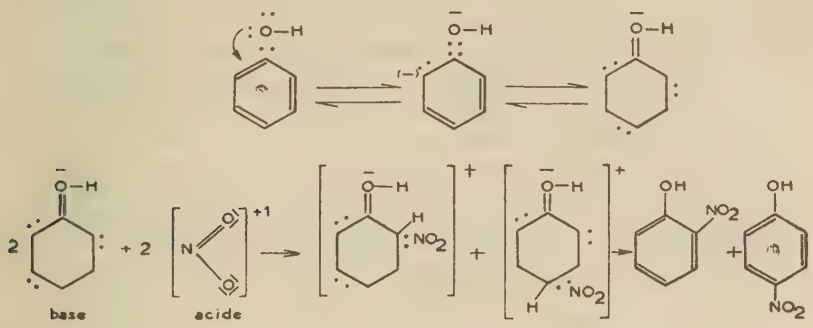


Autrement dit, le carbone ortho va devenir accepteur (électrophile) parce qu'une paire d'électrons a été mise en commun avec un oxygène du radical acide, ce qui va se traduire par le fait que les carbones ortho et para auront une densité électronique relativement faible par rapport au carbone en méta. Or, il a été montré (10, 11) que les substitutions étaient produites par l'action de « fragments positifs » sur le noyau. Par conséquent, de tels fragments se fixeront sur les carbones électrodonneurs du noyau, c'est-à-dire, dans le cas où celui-ci possède déjà un radical acide, sur les carbones en méta. La réaction peut se schématiser ainsi :



Radicaux basiques. — Il en sera de même avec les radicaux basiques tels que les groupements amine, amine substituée, hydro-

xyle, etc..., qui, eux, favoriseront les substitutions en ortho et para selon le mécanisme suivant :



Les critères fondamentaux des phénomènes acide-base

I. - *Neutralisation.*

Il nous faut d'abord faire une distinction entre deux sortes d'acides. Lewis appelle acides ou bases *primaires* des substances dont le comportement acide ou basique peut être prévu par l'examen de leur formule électronique. Ces substances se combinent facilement sans aucune chaleur d'activation. Par contre, certaines substances se comportent expérimentalement comme des acides faibles sans que leur formule électronique ait laissé prévoir ce comportement. Ces acides et les bases identiques sont appelés *secondaires*. Leur neutralisation requiert une chaleur d'activation et Lewis admet que ces composés, qui ne sont ni acides ni bases dans leur état normal de plus faible niveau énergétique, deviennent acides ou bases par excitation.

Comme nous l'avons déjà vu, la neutralisation est la formation d'une liaison de covalence de coordination entre un acide primaire et une base primaire. La présence du solvant n'est pas indispensable dans ces réactions qui peuvent avoir lieu à l'état gazeux à haute température et à l'état solide, comme dans la fabrication du verre et du ciment.

Nous avons nous-mêmes montré que l'on peut également observer une réaction de neutralisation entre un acide solide et une base dissoute (12).

Certaines neutralisations peuvent être classées parmi les réactions de déplacement selon la base employée. Ainsi, la réaction :

$$SiO_2 + O^{--} \rightarrow SiO_3^{--}$$

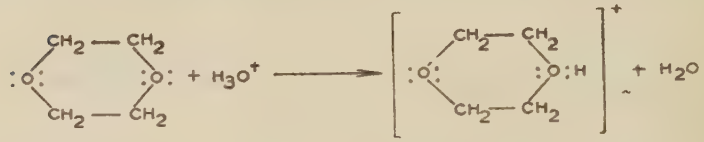
sera considérée comme un déplacement si l'oxygène provient d'un oxyde non ionique.

II. - *Titration en présence d'un indicateur.*

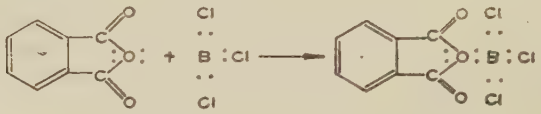
La titration d'un acide par une base ou vice-versa, peut s'effectuer dans un solvant quelconque. L'indicateur le plus généralement utilisé est le violet cristallisé qui est stable dans un grand nombre de solvants et présente toujours les mêmes variations de couleurs.

D'une réalisation simple, cette méthode permet à coup sûr, dans un solvant quelconque, de déterminer le caractère acide ou basique d'une substance donnée.

Des nombreux travaux publiés à ce sujet, nous ne retiendrons que les exemples typiques de Luder et Zuffanti (13). Ces auteurs, en employant le violet cristallisé, ont titré, en milieu aqueux, des acides tels HCl, H_2SO_4, HNO_3, etc..., par NH_3, C_6H_5N, C_2H_5OH, 1-4 dioxane, etc... Avec cette dernière base, la réaction est la suivante :



Dans le chlorobenzène, HCl gazeux, BCl_3 et $SnCl_4$ ont pu être titrés par l'éther, les anhydrides d'acides organiques et les alcools. C'est ainsi que nous avons dosé (15) $AlCl_3$ et l'acidité de surface de bore peut se schématiser ainsi :



Les même acides peuvent être titrés dans le tétrachlorure de carbone par la pyridine, les amines et les esters. Par exemple :

Au cours de nos travaux, nous avons été amenés à doser des acides solides de Lewis. La titration en présence d'un indicateur adsorbé s'étant révélée peu sensible, nous avons adapté la méthode thermométrique de Dutoit et Grobet (14) à ce dosage particulier. C'est ainsi que nous avons dosé (15) Al Cl_3 et l'acidité de surface de gels mixtes silice-alumine en suspension dans le benzène par des bases

telles le dioxane et l'acétate d'éthyle en solution benzénique. Les résultats que nous avons obtenus montrent que l'on peut effectuer des titrations correctes même en milieu hétérogène.

III. - *Réactions de déplacement.*

Nous avons vu précédemment que la combinaison d'un acide et d'une base primaire était une neutralisation. Par contre, lorsqu'un acide secondaire réagit sur une base secondaire, c'est un phénomène de déplacement.

Les réactions de déplacement peuvent se classer en deux groupes.

1° Déplacement d'un acide faible par un acide fort, par exemple :

$$\underset{\text{acide}}{2\,H^+} + CO_3 \rightarrow H_2O + \underset{\text{acide}}{CO_2} \text{ (système protonique)}$$

$$SiO_2 + Na_2CO_3 \rightarrow Na_2SiO_3 + CO_2 \text{ (système non protonique).}$$

2° Déplacement d'une base faible par une base forte, par exemple :

$$HO_2O + HCl \rightarrow H_3O^+ + Cl^- \text{ (système protonique).}$$

$$(CH_3)_2N : + H_3N : B(CH_3)_3 \rightarrow (CH_3)_3N : B(CH_3)_3 + : NH_3$$
(système non protonique).

De même, chaque fois que le solvant participera à une réaction acide-base, on aura affaire à un phénomène de déplacement :

$$BeCl_3 + SeOCl_2 \longrightarrow SeOCl^+ + BCl_4^- \text{ (déplacement).}$$

L'effet de nivellement. — La connaissance de la force relative des acides et des bases dans un solvant donné, est limitée par la force acide ou basique du solvant. Par exemple, les acides forts usuels présentent tous la même force parce qu'ils réagissent quantitativement avec l'eau, par exemple en solution diluée. On aura donc dans tous les cas le même acide : l'ion Hydronium. Ce phénomène est connu sous le nom d'*effet de nivellement*. Un solvant plus basique que l'eau, tel NH_3, nivellera un grand nombre d'acides. Par exemple, l'acide acétique est beaucoup moins ionisé dans l'eau que HCl, parce que l'ion acétique formé selon la réaction :

$$CH_3COOH + H_2O \rightarrow H_3O^+ + CH_3COO^-$$

est une base plus forte que Cl, la réaction sera donc limitée de la gauche vers la droite, tandis qu'avec HCl la faible basicité de Cl ne limite pratiquement pas la réaction. Mais si l'on dissout l'acide acétique dans l'ammoniac, on a la réaction :

$$CH_3COOH + NH_3 \rightarrow NH_4^+ + CH_3COO^-$$

uniquement de la gauche vers la droite, l'ammoniac étant une base plus forte que l'ion acétique. Dans un tel solvant, tous les acides plus forts que l'acide acétique apparaîtront de la même force que NH_4^+. Pour comparer la force des acides, il faudra donc choisir un solvant moins basique que l'eau, par exemple l'acide acétique, dans lequel on a obtenu les forces relatives suivantes :

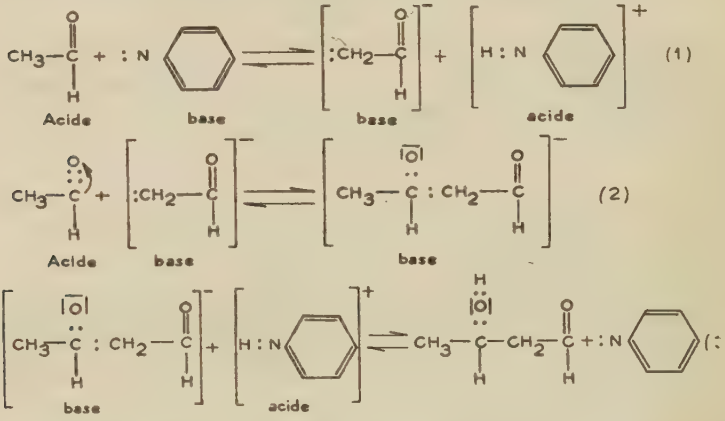
$$HClO_4 > HBr > H_2SO_4 > HCL > HNO_3$$

Il serait évidemment encore plus rigoureux d'utiliser un solvant inerte, tel le benzène, par exemple.

IV. - *Catalyse.*

Il est déjà généralement reconnu que le caractère basique de certains composés organiques est exalté par un grand nombre de substances (16), aussi ne donnerons-nous qu'un exemple de catalyse basique.

Catalyse basique. — Lorsqu'une base agit comme catalyseur, la substance réagissante se comporte comme un acide. C'est le cas, par exemple, de la condensation des aldéhydes catalysée par les acétates, la pyridine et les amines (17). Le mécanisme peut se représenter de la façon suivante (18) :



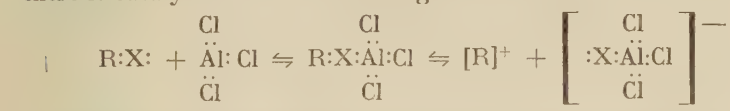
Catalyse acide. — Les catalyseurs de la réaction de Friedel et Crafts, tels que $AlCl_3$, $FeCl_3$, $SnCl_4$, etc..., sont des acides selon Lewis. Leur activité est bien connue en chimie organique, mais on admet difficilement que ces composés puissent catalyser la réaction des métaux sur l'eau pure. Cette réaction, qui est très lente parce que la concentration des ions H^+ est très faible, sera rendue plus rapide lorsqu'on ajoutera un acide suffisamment fort pour augmenter cette concentration. Or, la catalyse acide, comme nous le montrerons, est due au fait que le catalyseur augmente la concentration du groupement acide impliqué dans la réaction ; il y a donc bien analogie entre l'effet catalytique de la réaction de Friedel et Crafts et celui observé dans l'action d'un métal sur l'eau. Remarquons, en passant, que cette interprétation peut avoir d'importantes répercussions sur la théorie de la corrosion.

Puisque les catalyseurs Friedel et Crafts sont des acides selon Lewis, on peut se demander si les composés habituellement reconnus comme des acides ne catalyseraient pas cette réaction. La preuve a été faite que HF (18), H_3PO_4 et H_2SO_4 (20, 21), peuvent par-

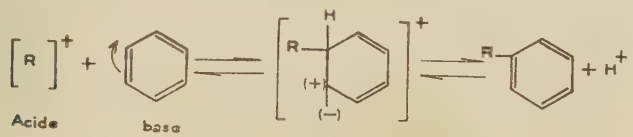
faitement bien catalyser la réaction de Friedel et Crafts et autres réactions similaires.

Nous allons maintenant passer en revue les principales réactions de la chimie organique tributaires d'une catalyse acide.

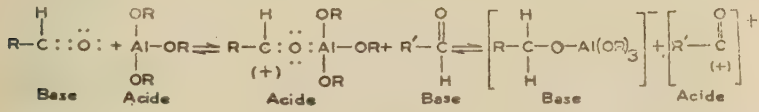
Alkylation. — Lors de l'action d'un dérivé halogéné sur un noyau benzénique, des mesures de conductance et de constante diélectrique (22) ont montré qu'il se forme des complexes ioniques entre le catalyseur et le dérivé halogéné :



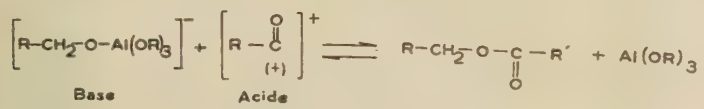
Le radical positif formé réagit alors sur le noyau benzénique qui se comporte comme une base (23) :



Réaction de Cannizzaro. — Cette réaction conduit, en catalyse basique, à un acide et à un alcool. Voyons ce qui se passe dans le cas d'une catalyse acide par un alcoxyaluminium. Ce composé, acide selon Lewis, va réagir avec l'aldéhyde pour former un composé acide selon la réaction :

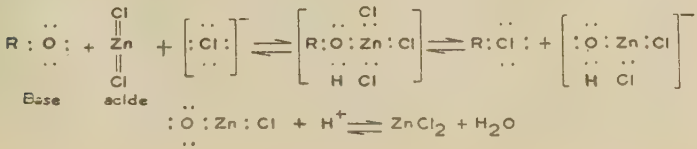


puis finalement :



par déplacement d'un acide par un autre.

Halogénation. — L'action catalytique de $ZnCl_2$ sur la transformation d'un alcool en dérivé halogéné est bien connue. $ZnCl_2$ est un acide qui se coordine avec l'alcool qui est une base :

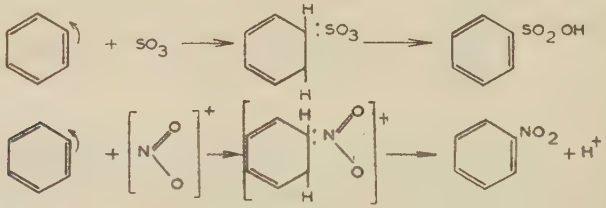


Sulfonation et nitration. — Le trifluorure de bore a été utilisé comme catalyseur dans les réactions de sulfonation et de nitration par Thomas (24) qui indique le processus suivant :

$$RH + HO\,SO_2\,OH + BF_3 \rightarrow HO\,O_2\,S\text{-}R + H_2\,O : BF_3$$
$$RH + HO\,NO_2 + BF_3 \rightarrow R\text{-}NO_2 + H_2\,O : BF_3$$

Ainsi, la fonction catalytique de BF_3 est d'augmenter la concentration de SO_3 par sa combinaison avec l'eau. Par analogie on peut admettre la formation, lors de la nitration, d'un ion NO_2^+ selon le processus :

D'où les réactions :



Conclusion

Les conceptions que nous avons exposées plus haut, permettent de classer toutes les réactions chimiques en un nombre très restreint de groupes :

I. - *Réactions acide-base,* impliquant la formation d'une liaison covalente de coordination

$$BCl_3 + NH_3 \rightarrow \quad [H_3\,N \rightarrow BCl_3]$$

II. - *Réactions d'oxydo-réduction,* se traduisant par un changement de valence :

$$2\,Na + Cl_2 \rightarrow 2\,Na\,Cl$$

III. - *Réactions de radicaux libres,* impliquant la formation d'une simple liaison de covalence :

$$NO_2 + NO_2 \rightarrow N_2\,O_4$$

Les tentatives de certains auteurs pour conserver le nom d'acide aux seules substances hydrogénées, semblent vouées à un échec certain, car on ne peut nier que les acides de Lewis répondent à tous les critères des acides de Bronsted. C'est ainsi que Bjerrum (25), pour conserver les anciennes définitions, a été amené à appeler les acides de Lewis des antibases et à inclure la neutralisation, définie plus haut, dans le phénomène d'oxydo-réduction. A notre avis, ce ne sont

là que des tentatives rétrogrades qui ne correspondent pas aux faits observés.

Comme nous espérons l'avoir montré, la théorie électronique des acides et des bases est extrêmement générale et féconde. En effet, elle se révèle, pour le chercheur, un merveilleux outil. Nous avons vu comment l'organicien et le physico-chimiste pouvaient, à la lumière des idées de Lewis, expliquer le mécanisme de la plupart des processus réactionnels. De plus, nous sommes intimement persuadés que les adeptes de cette nouvelle science qu'est la chimie de l'état solide, trouveront, dans la théorie électronique, l'explication de nombreux phénomènes qu'ils ont observés.

Ainsi, les remarquables travaux de G. N. Lewis, tant sur la liaison chimique que sur les phénomènes acide-base, ont apporté à de nombreux problèmes des solutions simples et élégantes. Il est de plus en plus certain que des disciplines aussi diverses que la catalyse hétérogène, la chimie organique et l'électrochimie, devront, dans une large mesure, faire appel aux géniales conceptions que, dans la première moitié de ce siècle, G. N. Lewis n'a cessé de développer.

Y. TRAMBOUZE.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrage de fond : Luder et Zuffanti : *Electronic Theory of Acids and Bases*, John Wiley and Sons, New-York, 1947.

(1) Franklin : *J. Am. Chem. Soc.*, **27**, 820, 1905.
(2) Cady et Elsey : *J. Chem. Education*, **5**, 1425, 1928.
(3) Smith : *Chem. Revs.*, **23**, 165, 1938.
(4) Usanovitch : *J. Gen. Chem., U.R.S.S.*, **9**, 182, 1939.
(5) Lewis : *Valence and the structure of atoms and molecules*, Chimical Catalog Company, New-York, 1923.
(6) Lewis : *J. Franklin Institute*, **226**, 293, 1938.
(7) Sidwick : *The electronic theory of valency*, Oxford University Press, N.-Y., 1927.
(8) Booth et Wilson : *J. Am. Chem. Soc.*, **57**, 2273, 1935.
(9) Sisler et Andrieth : *J. Am. Chem. Soc.*, **61**, 3392, 1939.
(10) Bodendorf et Bohme : *Ann.*, **510**, 1, 1935.
(11) Wertyporoch et Ficla : *Ann.*, **500**, 287, 1933.
(12) Trambouze : *C. R.*, **223**, 648, 1951.
(13) Luder, Mc Guire et Zuffanti : *J. Chem. Ed.*, **20**, 344, 1943.
(14) Dutoit et Grobet : *J. Chim. Phys.*, **19**, 324 et 331, 1921.
(15) Trambouze : *Bull. Soc. Chim. France*, 1952, à paraître.
(16) Entre autre, Bronsted : *Rec. Trav. Chim.*, **42**, 718, 1923.
(17) Bell : *J. Chem. Soc.*, **64**, 1032, 1942.
(18) Hammett : *Physical Organic Chemistry*, Mc Graw-Hill Book. N.-Y., 1940
(19) Simons et Archer : *J. Am. Chem. Soc.*, **60**, 2953, 1938.
(20) Burivell et Archer : *J. Am. Chem. Soc.*, **64**, 1032, 1942.
(21) Ipatieff, Corson et Pines : *J. Am. Chem. Soc.*, **58**, 2339, 1936.
(22) Fairbrother : *J. Am. Chem. Soc.*, 503, 1945.
(23) Price : *Chem. Revs.*, **28**, 40, 1941.
(24) Thomas, Anzilotti et Hemiron : *Ind. Eng. Chem.*, **32**, 408, 1940.
(25) Bjerrum : *Angewandte Chemie*, **527**, 1951.

La Formation technique de l'Ingénieur-Chimiste moderne (*)

par Maurice LETORT

Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy,
Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure
des Industries Chimiques de l'Université de Nancy

Le problème de la formation des ingénieurs considéré pour les diverses disciplines est de pleine actualité. Par exemple, l'active Fédération des Associations et Sociétés françaises d'ingénieurs (F.A.S.F.I.), l'inscrivait successivement à l'ordre du jour de ses Congrès nationaux en 1937 et 1947 à Paris, en 1949 à Toulouse et en 1950 à Lyon. J'ai déjà eu l'occasion au Congrès de Toulouse de traiter de la formation de l'Ingénieur-Chimiste ; c'est cependant un exposé entièrement nouveau que je voudrais présenter.

Ce souci qu'on ressent très vivement à l'heure actuelle aussi bien en France qu'à l'étranger, de former l'Ingénieur suivant les meilleures méthodes, et souvent pour cela de modifier des méthodes en usage, est un aspect de la révolution scientifique et industrielle que nous n'avons pas fini de vivre, et d'une façon plus générale de l'évolution de notre civilisation même. Le savant et l'ingénieur ne sont-ils pas, en effet, les principaux artisans de ce phénomène grandiose qu'on peut aimer ou déplorer, mais qui est inéluctable ? (Notez je vous prie, que j'emploie ici le mot un peu suranné de savant ; mais je ne pourrais dire scientifique, car il n'est pas concevable que l'ingénieur ne soit pas lui-même un scientifique.)

Je dois dire immédiatement que du sujet qui m'occupe, je laisserai systématiquement de côté l'aspect moral et l'aspect social qu'il conviendrait de considérer dans une vue très générale du problème. L'importance de ces question est grande ; personnellement, je la ressens profondément mais, outre qu'elle intéresse toutes les professions d'ingénieurs, je n'aurai le temps de considérer que la formation *technique* de l'ingénieur-chimiste.

(*) Conférence plénière du XXIV[e] Congrès international de Chimie Industrielle, Paris, 27 novembre 1951. Un résumé de cette conférence a été publié dans le numéro spécial pour ce congrès du journal « Chimie et Industrie » sous le titre : « L'enseignement moderne de la chimie destiné aux ingénieurs-chimistes. »

*
**

Une marque de la révolution scientifique et industrielle que je viens d'évoquer est la rapidité de son déroulement. Dans le domaine de la chimie, cette progression est extrêmement rapide ; elle justifie pleinement que la formation de l'ingénieur-chimiste ait considérablement évoluée *en moins d'un quart de siècle.*

Si je n'avais que quelques instants pour exprimer à larges traits la transformation que la chimie subit, je dirais que de science essentiellement descriptive dont les parties théoriques étaient surtout fondées sur le principe d'analogie, la chimie devient sous nos yeux, comme la physique elle-même, une science explicative, déductive et quantitative. Quantitative, voilà le maître-mot prononcé ! La ligne d'évolution, d'ailleurs très naturelle, est nettement tracée. Si le chimiste essentiellement occupé d'analyses et de préparations se classait plutôt parmi les naturalistes vers 1900, le chimiste moderne et avec lui l'ingénieur-chimiste, s'ils n'entendent pas limiter délibérément leurs activités, se classent parmi les physiciens.

Ceci ne veut pas dire, certes, que ce qu'il est commode d'appeler la chimie descriptive ait perdu de son intérêt. Je tiens à le préciser nettement, ayant quelque méfiance de commentateurs trop pressés. Mais ce qui constituait jadis l'essentiel d'une science n'est plus maintenant qu'une partie dans un ensemble.

C'est dire que ce qu'il convient d'enseigner maintenant est très vaste et comme le champ des industries chimiques s'est lui-même considérablement développé qualitativement et quantitativement, c'est un problème ardu pour l'éducateur que de savoir trier l'essentiel de l'accessoire, afin de former dans un délai raisonnable, c'est-à-dire en trois ou quatre ans, un ingénieur-chimiste compétent.

La description sommaire de la chimie dans toute son ampleur va nous dicter ce choix.

*
**

Depuis les origines mêmes de la chimie, le problème fondamental que se propose cette discipline est resté le même. Etant donné un corps ou, le plus souvent, un mélange de corps soumis à des conditions physiques déterminées (température, pression, concentrations, champ électrique, irradiation...), il convient de *connaître*, ou mieux encore, de *prévoir* la transformation de nature de ces corps, le rendement de la transformation, l'évolution enfin de ce rendement en fonction de la durée de réaction.

Depuis l'époque où les Egyptiens de la Haute Antiquité préparaient pour la première fois l'alun (première manifestation, semble-t-il, de l'industrie chimique), jusqu'à une époque récente, le chimiste n'a eu d'autre moyen que l'empirisme et le raisonnement par analogie. Il emploie toujours ces moyens avec beaucoup de profit. Ce qu'il connaît par expérience du comportement d'un réactif dans

telles circonstances particulières lui suggère de modifier ses conditions expérimentales. Il procède de proche en proche ; ayant beaucoup lu, beaucoup vu, beaucoup essayé, fertilisant d'imagination une vaste érudition, le chimiste manifeste un génie très particulier dont on a pu dire, comme de celui du médecin, qu'il est plus d'un art que d'une science.

Ainsi s'est faite la chimie et les centaines de milliers de corps dont le seul catalogue occupe une bibliothèque entière.

Cette extraordinaire réussite de méthodes classiques en principe si simples, mérite qu'on considère avec quelque modestie les exploits les plus brillants des méthodes modernes.

Comme par le passé, il importe donc que le chimiste se consacre avec application à la description des espèces, à l'étude de leurs préparations et propriétés, à l'exécution de préparations, à la chimie analytique enfin qui permet de définir réactifs et produits obtenus.

Il va sans dire qu'on ne peut vraiment apprendre ces matières que par la *fréquentation assidue du laboratoire.*

Comme par le passé, je pense que le laboratoire doit rester le *berceau* du chimiste et de façon plus générale de tout homme qui a à faire avec la chimie. C'est là qu'il acquerra ce que j'appelle volontiers les « *réflexes du chimiste* » qui sont : l'*esprit d'observation*, le *respect des faits*, l'*esprit d'initiative* que développe particulièrement bien la conduite de préparations délicates.

Ces qualités de l'expérimentateur qui travaille lui-même de ses mains, dépassent évidemment le cadre de la technique. Elles s'étendent au caractère même de l'homme et inspirent son comportement général. Cette méthode éducative est sans doute bonne si l'on en juge par la place prééminente que le chimiste et l'ingénieur-chimiste occupent dans la hiérarchie des ingénieurs de ces pays dont la puissance industrielle est exemplaire comme les Etats-Unis d'Amérique, l'Angleterre et l'Allemagne.

En outre, de cette formation à la fois technique et morale, la chimie descriptive et la fréquentation du laboratoire éduqueront un dernier réflexe : à savoir le sens intime des *extraordinaires possibilités de transformation qu'offre la réaction chimique*, caractéristique essentielle qui confère aux industries chimiques, lorsqu'elles sont bien conduites, leur formidable vitalité, leur ampleur, leur diversité, leur capacité de renouvellement, leur flexibilité enfin aux conditions économiques des marchés et des ressources.

*
**

Cette importance du laboratoire ne doit pas conduire cependant à l'*erreur* de croire que la profession d'ingénieur-chimiste soit encore essentiellement d'exercice manuel. Si les buts n'ont pas changé, les moyens d'accès se sont considérablement enrichis et les méthodes

d'étude se sont considérablement modifiées. Expérimentation et conception exigent maintenant le *maniement d'un important appareil théorique.*

Il serait vain de chercher à fixer exactement l'importance relative de ces deux aspects de la formation du chimiste. Personnellement, je les tiens pour indispensables l'un de l'autre, et je pense que la distribution des efforts pour former le chimiste moderne ne se distingue plus de celle qu'on reconnaît pour former un physicien.

Pour mieux percevoir ce rôle actuel de la théorie, j'analyserai successivement les trois parties entre lesquelles on peut diviser logiquement la Chimie telle qu'elle se propose à nous comme je l'ai dit tout à l'heure. Chimie descriptive, art des préparations et analyse chimique intéressent l'étude de la constitution de la matière ; nous examinerons d'abord cette première partie, qui est la plus ancienne. Puis nous examinerons la statique chimique et la cinétique chimique.

Nous verrons que le développement relatif de ces trois parties est inégal. Nous verrons ultérieurement aussi que d'autres matières qui n'intéressent guère l'homme de laboratoire, sont d'une importance extrême pour l'ingénieur.

⁂

L'art des préparations où j'inclus celui des séparations s'est enrichi de toute une série de techniques nouvelles ; techniques du vide, des hautes pressions, des très hautes et très basses températures, méthodes électro-chimiques et photochimiques, méthodes de régulation, de contrôle et de programmation (si vous voulez bien me passer ce néologisme assez laid). De même l'analyste a centuplé l'acuité de sa perception en ajoutant à celles de la balance et des vases gradués, les ressources de méthodes électriques, électroniques et optiques sans cesse plus savantes, nombreuses et variées : spectroscopie ultraviolette, infrarouge ou Raman, diffraction des rayons X et des électrons, spectrométrie de masses, polarographie, méthodes magnétochimiques, détermination des constantes diélectriques, etc... Le dosage des gaz par spectrométrie de masses et par absorption du rayonnement infrarouge sont parmi les plus récentes de ces méthodes.

Le chimiste ne saurait utiliser avec maîtrise tous ces nouveaux outils sans posséder de solides connaissances en physique aussi bien théorique qu'expérimentale. *Comme un leitmotiv, nous verrons revenir sans cesse cette conclusion.*

Concernant l'étude livresque, l'atomistique ainsi que la physique moléculaire sont venues confirmer, préciser et considérablement enrichir la symbolique chimique classique, science de la représentation et de la classification des corps, qui s'est longtemps contentée d'un corps de doctrine très simple, apport du XIX^e^ siècle (loi pondé-

rales, notions empiriques de valence et de fonction chimique, stéréochimie).

De façon générale, l'ère des recettes que l'on a plaisamment appelées « de cuisine » est close. Le chimiste change d'âme ; il se dépouille de celle du collectionneur. Les cours ne sont plus (ou n'ont plus le droit d'être) ces catalogues fastidieux de cas particuliers (couleur, odeur, point de fusion, point d'ébullition, couleurs de précipités, etc...), pour lesquels beaucoup d'esprits avaient une invincible et compréhensible répugnance.

La physique moderne, comme un phare puissant, fait apparaître de majestueux édifices là où les ténèbres ne laissent percevoir que des lignes confuses et, capricieusement, quelques détails. Si l'œuvre entreprise est loin d'être achevée, la voie est définitivement ouverte qui mène la chimie vers l'idéal platonicien d'une science qui se résoudrait en nombres ; le rôle des nombres quantiques dans l'interprétation de la classification périodique des éléments et, partant, dans l'exposé de toute la chimie minérale en constitue un éloquent exemple parmi d'autres.

Il ne serait pas facile (et il serait d'ailleurs bien inutile de le faire devant vous) de présenter en quelques minutes ces conquêtes de la physique moderne dans le domaine de la chimie. Je noterai cependant qu'elles se groupent autour de deux grands thèmes : d'une part, l'*étude des structures*, (structure de l'atome, structure absolue des molécules, structure des milieux solides et liquides qu'ils soient constitués d'une phase unique ou d'un mélange de phases, structure des milieux dispersés, structure des surfaces), d'autre part, d'étude plus récemment abordée des *forces de nature très spéciale* qui sont responsables de ces structures et que la mécanique ondulatoire permet maintenant de décrire.

Il convient également de souligner les divers caractères de cette emprise de la physique moderne sur la chimie : elle est relativement *récente*, elle est *continue*, *générale* et *déterminante*.

Récente relativement ! puisqu'on peut situer vers l'époque de la première guerre mondiale le moment où elle a commencé de se manifester intensément. Ces quelques dates en font foi :

— découverte des diplômes permanents, Debye 1912 ;
— loi de Moseley, 1913 ;
— modèle atomique de Bohr et Sommerfeld, 1913-1916 ;
— théorie de l'électrovalence et de la covalence, Kossel, G. N. Lewis, Langmuir, 1916-1919 ;
— découverte de la mécanique ondulatoire, L. de Broglie et Schrœdinger, 1923 ;
— théorie des spectres diatomiques, J. Franck, 1925 ;
— principe d'exclusion de Pauli, 1925 ;
— théorie du couplage des spins, Heitler et London, 1927 ;
— découverte de l'effet Raman, 1928.

Continue ! car chaque année qui passe apporte de nouveaux résultats expérimentaux et de nouveaux progrès dans les conceptions théoriques, ce qui impose au professeur une lourde tâche de documentation et d'appréciation.

Générale ! car elle intéresse aussi bien la Chimie minérale que la Chimie organique, la Chimie biologique que l'analyse.

Déterminante enfin ! car les cas sont nombreux où la physique et ses méthodes ont apporté la clé de questions qui jusqu'alors n'étaient que très approximativement ou pas du tout résolues. J'en prendrai des exemples précis.

Ainsi, concernant la notion de valence qui constitue, comme on le sait, l'ossature même de la chimie toute entière, les conceptions de ce qu'on appelle la « chimie mathématique » permettent d'instituer de nouvelles représentations dont le bénéfice n'est pas seulement spéculatif puisqu'elles inspirent actuellement de nouvelles méthodes de synthèse.

De même, dans le champ de la chimie minérale, il vaudrait mieux renoncer à tout enseignement sur l'important chapitre des silicates que de ne pas fonder celui-ci sur la systématique que Bragg et son école ont élaborée vers 1935. La structure de la maille cristalline et la notion qui en découle de groupe autonome, constituent l'indispensable fil directeur dans ce domaine où régnait depuis plus d'un siècle la confusion la plus complète. Ce serait passer absolument à côté de la question et faire perdre du temps aux étudiants que d'en rester à ce propos aux fastidieuses et inutiles descriptions d'avant 1935. Dans le même ordre d'idées, il est clair maintenant qu'il deviendra possible d'enseigner utilement les difficiles questions des métaphosphates, des hétéropolyacides, des polyvanadates, molybdates, tungstates, etc..., lorsque l'analyse aux rayons X ou d'autres techniques auront permis de comprendre la structure de ces corps.

Nous touchons là du doigt l'immense bénéfice pour l'enseignement, des conceptions modernes de la chimie générale. L'exposé synthétique basé sur la physique atomique et moléculaire se substitue de plus en plus à l'exposé analytique. L'immense légion des faits particuliers vient s'ordonner peu à peu autour d'idées générales en nombre sans cesse croissant. Et il n'est pas difficile de prévoir que, dans vingt ans, un cours de chimie minérale, par exemple, n'aura plus grand'chose de commun, sauf le titre, avec un ouvrage du début de ce siècle. Il va sans dire que ceux qui ne goûtent que médiocrement les joies de la conquête peuvent penser avec raison qu'ils sont nés à une bien mauvaise époque !

Est-ce dire que le chimiste doive disparaître et faire place complètement au physicien ? Cette position extrême ne serait évidemment pas raisonnable car, si en toute logique, chimie descriptive et préparatoire ne sont que chapitres d'une science plus générale de la matière, si l'atomistique et la physique moléculaire recèlent les causes profondes et générales des phénomènes, il est bien évident que

l'immensité du champ embrassé demande qu'il soit distribué entre divers spécialistes. Toute la question est donc de juger du niveau de culture en physique et par conséquent en mathématiques que le chimiste moderne doit posséder. Entre l'exposé presque exclusivement qualitatif de la physique moderne dont on pouvait se contenter voici une vingtaine d'années et les développements mathématiques extrêmement abstraits de la mécanique ondulatoire, il convient de choisir un terme moyen.

De fait, ce moyen terme peut varier sensiblement suivant que le futur ingénieur se destine par exemple à la synthèse organique de laboratoire, à la chimie physique ou au calcul des réacteurs. Le champ de la chimie est devenu lui-même si vaste qu'il est souhaitable de le partager. Il est donc souhaitable que diverses écoles orientent dans des directions différentes leur principal effort.

Cependant, quelle que soit son origine scolaire, l'ingénieur-chimiste formé par le haut enseignement technique doit posséder *un minimum indispensable* de connaissances en mathématiques et physique. Celles-ci doivent lui permettre sinon de faire œuvre originale, du moins de dominer les problèmes qui lui sont propres, de se mouvoir à l'aise dans son domaine et aussi, c'est très important, s'étant entretenu de lectures, de s'y mouvoir encore dans vingt ans. En effet, on ne forme pas un ingénieur comme un costume sur mesure pour l'année où il sort de l'Ecole.

Pour m'exprimer plus précisément je considérerai le problème nettement posé de la documentation dont chacun sait l'importance. Il est facile de juger là de la culture d'un ingénieur. Certains qui portent ce titre sont tout juste capables, dans un mémoire, d'y recopier une recette. C'est évidemment insuffisant. L'ingénieur doit être capable de placer ce mémoire dans le cadre de connaissances acquises et, moyennant parfois l'aide de traités généraux, d'en pénétrer absolument le sens. Or, à parcourir au hasard les innombrables publications que nous offrent chaque année les périodiques de chimie pure ou appliquée, on s'aperçoit vite que ce n'est pas si facile.

Comme le recommandait déjà en 1923 le Professeur Marcel Guichard, je pense que le niveau minimum de connaissances en mathématiques et en physique qu'on doit exiger à l'*entrée* des écoles d'ingénieurs-chimistes est, pour la France, celui du certificat propédeutique de Mathématiques, Physique, Chimie (M.P.C.) des Facultés des Sciences.

Pour l'élève, minéraliste ou organicien, qui entend s'orienter plus spécialement vers l'aspect physico-chimique des problèmes, le certificat d'études supérieures de Physique générale des Facultés des Sciences est indispensable. Cet enseignement, qui comporte les chapitres traditionnels de mécanique physique, de thermodynamique générale, d'électricité et d'optique physique, avec les travaux pratiques correspondants, constitue une base solide. Etant donné cependant le caractère très classique de ces cours, il conviendra de les

compléter de conférences de physique moderne, de spectroscopie moléculaire, de calcul statistique et d'une initiation à la mécanique ondulatoire appliquée à la chimie (chimie mathématique). Comme on le sait, ces études supposent une culture mathématique préalable du niveau *au moins* du certificat de Mathématiques générales.

A examiner maintenant la statique chimique, la cinétique chimique, puis, plus tard, le génie chimique, nous confirmerons la nécessité de ces connaissances de base.

***

La statique chimique est, vous le savez, la science des équilibres chimiques. Elle apporte la solution parfaite, en théorie au moins, du vieux et crucial problème de la prévision des réactions. Puisque toute réaction, si complète qu'elle paraisse, peut toujours être conconstante d'équilibre (c'est-à-dire en définitive une variation d'énergie libre), et on connaîtra pour toutes les conditions de pression, de concentrations et de température, la composition du système.

Toute cette doctrine extrêmement remarquable et qui est parvenue à un très haut degré de perfectionenment, est évidemment indispensable à l'homme de science et peut-être plus encore à l'ingénieur. Une anecdote que je tiens du Professeurs Victor Henri le montre bien. Elle se rapporte à la synthèse indutrielle du méthanol à partir du gaz à l'eau ; celle-ci, vous le savez, a marqué une ère nouvelle de la grande chimie organique industrielle.

A la fin de la première guerre mondiale, l'importante Société qui s'intéressait à ce problème y attacha une armée de docteurs et d'ingénieurs. Patiemment, ceux-ci recherchaient sur un large domaine de pression et de température, les conditions qu'il convenait d'adopter. Très systématiques, les recherches demeuraient empiriques et les années passaient sans grand résultat, car les expériences à faire étaient innombrables. Le hasard voulut qu'un jour Haber, visitant ces laboratoires, fut mis au courant du problème. Haber possédait à fond la thermodynamique et connaissait bien, en particulier, le troisième principe ou « théorème de Nernst » qui venait de sortir victorieux d'épreuves expérimentales cruciales. En moins d'une heure, il calcula *a priori* les conditions optima de la synthèse, faisant ainsi gagner un temps énorme. La leçon fut si forte que depuis, dit-on, aucun ingénieur-chimiste ne fut engagé dans cette Société s'il ne savait calculer *a priori* un équilibre. Il restait à mettre au point les catalyseurs convenables, mais ceci est une autre histoire et j'y reviendrai.

En mettant ainsi en avant le problème très spectaculaire de la prévision des réactions, n'oublions pas au reste les autres ressources que l'énergétique apporte à la chimie ; diagrammes de

phases, lois osmotiques, à peu près toute l'électrochimie et la théorie de solutions en solvants ionisants. On sait enfin la place considérable qu'occupe la Thermodynamique dans l'Art de l'ingénieur.

Ainsi donc, l'ingénieur-chimiste, quel que soit son emploi futur, doit avoir pénétré le sens des notions fondamentales d'entropie, d'énergie libre, de potentiel chimique, de fugacité et d'activité thermodynamique ; il doit savoir manier avec dextérité les équations fondamentales, équations isotherme et isochore de Van d'Hoff, équation de Nernst, calcul entropique des équilibres.

Bien qu'il faille être évidemment entraîné au calcul différentiel et intégral, les difficultés ne sont pas là d'ordre mathématique : elles résident dans le caractère très abstrait du raisonnement thermodynamique. Il est important que, grâce à de multiples exercices, l'élève ait eu l'occasion de retrouver les principes sous leurs aspects les plus divers, qu'il y soit habitué et qu'il en ait pénétré tout le sens. L'expérience pédagogique montre qu'il est long d'acquérir cette habitude. Aussi y a-t-il intérêt à étaler largement sur la durée des études les divers enseignements de la Thermodynamique et de ses applications.

Enfin, et en réservant ceci pour le spécialiste de la physico-chimie, je tiens à dire qu'il est grand temps d'introduire dans les enseignements une initiation au calcul statistique des équilibres. Cette dernière conquête, qui éteint la querelle historique des atomistes et des énergétistes et jette un pont entre la physique de l'infiniment petit et les propriétés macroscopiques de la matière, est maintenant bien élaborée. Elle constitue une excellente occasion de former l'élève à l'idée statistique, concept fondamental avec l'idée quantique autour desquelles toute la chimie-physique est en train de se regrouper pour former une doctrine cohérente dont on ne sait plus dire si elle est chimique ou physique, car ces deux disciplines longtemps distinctes s'y marient indissolublement. Des exposés d'ensemble très remarquables ont déjà été tentés ; il n'est pas difficile de prédire qu'ils sont précurseurs de la physico-chimie de demain. En tous les cas, la thermodynamique statistique est la meilleure manière de donner tout son sens à la notion fondamentale d'entropie et, outre que le calcul statistique commence d'avoir de très intéressantes applications industrielles, nous le trouverons d'une inéluctable nécessité à propos de la cinétique chimique qu'il convient maintenant d'examiner.

***

La solution thermodynamique du problème de la prévision des réactions n'est pas parfaite, contrairement à ce qu'on dit parfois. Ses calculs sont absolument exacts, mais une réaction thermodynamiquement *possible* n'est pas *effective* pour autant à notre échelle d'observation dans le temps. Le système peut rester indéfiniment en état de faux équilibre et rien ne permet de prévoir quand il en sera ainsi. *A fortiori*, rien ne permet théoriquement de dire si la réaction

sera lente ou rapide, ni quels sont les facteurs dont il faudra jouer, soit pour l'accélérer, soit pour la retarder. Le facteur temps échappe à la thermodynamique.

C'est une grave lacune que la cinétique chimique, science des vitesses de réaction, se propose de combler.

L'état actuel de cette discipline nouvelle contraste avec la haute perfection à laquelle la statique chimique est parvenue. On ne doit pas s'en étonner ; les difficultés sont considérables.

Il n'est pas possible d'espérer pour la cinétique chimique l'heureux privilège dont jouit l'énergétique de n'avoir à connaître, grâce à la notion de transformation reversible associée, que l'état initial et l'état final d'un phénomène, sans qu'il soit nécessaire de comprendre le mécanisme *réel*. L'élaboration d'une doctrine générale des vitesses de réaction est, au contraire, indissolublement liée à l'analyse du mécanisme intime des transformations. Elle est, de ce fait, étroitement tributaire de nos connaissances encore imparfaites, car très récentes, concernant la mécanique de la molécule. On conçoit dès lors que, bien que la voie paraisse désormais ouverte, la cinétique chimique en soit encore à rechercher ses bases fondamentales, alors que les principes de la thermodynamique datent de 1824 et de 1845.

De plus, on le sait maintenant, le mécanisme réactionnel est le plus souvent très compliqué. Il aura fallu, par exemple, 25 ans de travaux issus de plusieurs laboratoires pour comprendre comment la molécule pourtant bien simple d'acétaldéhyde se transforme par pyrolyse en méthane et oxyde de carbone. Sans doute le mécanisme de la réaction chimique ne met-il en œuvre, en définitive, que deux ou trois actes élémentaires typiques (processus dimoléculaire, monomoléculaire et éventuellement trimoléculaire) ; mais, dans l'immense majorité des cas, un grand nombre de ces processus se combinent et s'enchevêtrent sans qu'on sache encore les isoler. La seule vitesse du processus global mesurée dans des conditions diverses doit permettre de débrouiller cet écheveau compliqué.

Enfin, à l'inverse de la thermodynamique qui ne s'occupe que des états stables de la matière qu'on peut produire et étudier à loisir, la cinétique chimique, soucieuse de ce qui se passe précisément *entre* l'état initial et l'état final, a nécessairement pour objet les états intermédiaires extrêmement fugitifs (atomes, radicaux libres, molécules activées), dont l'instabilité constitue la cause même des transformations. Il n'est guère facile de saisir expérimentalement ces formes éphémères dont la durée de vie moyenne est le plus souvent de l'ordre de quelques millièmes de seconde.

Malgré cette abondance de difficultés, après une longue et décevante période où d'innombrables mesures et observations s'accumulèrent sans qu'on ait su en extraire rien de général, la cinétique chimique est entrée vers 1922 (n'est-il pas remarquable de retrouver toujours cette époque ?) dans une ère d'intense activité et de prospérité. Comme c'est toujours le cas dans les sciences, cette

éclosion date du moment où une conception théorique (maintenant dépassée : celle qu'on appelle de l'activation par collisions) permettait pour la première fois de relier rationnellement entre elles des connaissances d'origine très diverse. Un fil était jeté entre deux continents et le dialogue pouvait enfin s'établir entre l'expérimentateur et le théoricien.

A l'heure actuelle, étant donné l'ampleur de l'objectif proposé (en fait, la dernière grande lacune de la chimie), la cinétique chimique devrait retenir très vivement la curiosité des chercheurs.

Depuis 1922, les progrès ont été très remarquables, si abondants et si rapides qu'il devient difficile même au spécialiste de se tenir au courant dans le détail des divers aspects de cette discipline qui éclate en plusieurs parties. Nos connaissances recèlent encore des obscurités et beaucoup de lacunes, mais les notions d'ordre réactionnel, de molécularité, d'activation, de facteur d'énergie et de facteur d'entropie d'activation, de chaînes réactionnelles, de stationnarité, d'initiation thermique ou photochimique, de propagation, ramification, transfert et rupture de chaînes, de sensibilisation, induction et inhibition, l'intelligence enfin des phénomènes dits catalytiques constituent des acquisitions considérables et solidement fondées que le chimiste n'a plus le droit d'ignorer.

L'importance industrielle de la cinétique ne le cède en rien à son intérêt spéculatif ; à l'usine plus qu'ailleurs, « le temps, c'est de l'argent », et le rendement à l'équilibre thermodynamique importe peu en définitive devant le rendement *horaire*. On conçoit l'énorme profit que tirerait l'ingénieur d'une doctrine cohérente et suffisamment maniable qui lui permettrait de calculer celui-ci, qui lui permettrait de prévoir les conditions de retardement des réactions parasites et d'accélération des transformations nobles.

An reste, l'importance pratique de la cinétique chimique n'est plus à démontrer. La preuve en est surabondamment faite. Par exemple, l'industrie préparative des hauts polymères n'aurait pas le rapide développement ni le volume que vous lui connaissez si les savants américains et anglais n'avaient élaboré, particulièrement entre 1930 et 1945, la théorie cinétique des polymérisations d'addition, des copolymérisations et polycondensations. A lui seul, ce domaine nous fournit de nombreux exemples où la cinétique chimique a ouvert la voie à l'industrie.

De même, comment aborder l'étude des combustions des gaz ou des solides, l'étude des flammes et explosions, celle de la réactivité des cokes, celle des masses de contact, si ce n'est par le canal de la cinétique chimique ?

Quel bénéfice y aurait-il enfin à savoir prévoir l'influence des facteurs cinétiques dans la délicate transposition de la réaction depuis le laboratoire jusqu'à la production en grand ! A ce propos, il est important de noter qu'indépendamment de l'étude des catalyseurs, un nouveau chapitre du génie chimique dont je parle ici par

anticipation, est en train de naître, comme le montrent quelques mémoires dans les périodiques spécialisés de ces dernières années. Il a pour objet le calcul des vitesses de réaction dans le réacteur industriel. L'important problème du réacteur continu qui éviterait d'effectuer les séparations des produits intermédiaires entre les différentes étapes d'une suite de préparations, figure parmi ses principales préoccupations.

*
**

Nous avons successivement analysé à larges traits les trois parties entre lesquelles on peut sans trop d'arbitraire diviser la chimie. Ici, s'arrêterait la formation de l'ingénieur-chimiste qui se destinerait exclusivement au laboratoire.

Par contre, pour celui qui aura charge de fabrications, soit pour les conduire, soit pour les élaborer à l'échelle industrielle, la tâche n'est pas achevée.

Bien des facteurs sont en effet d'influence négligeable au laboratoire [1] qui, à grande échelle, prennent une importance *déterminante*. Ainsi, dans la catalyse de contact on sait que la vitesse de réaction peut être régie non par l'acte chimique lui-même ou par les processus qui lui sont liés d'absorption ou de désorption, mais par la vitesse d'arrivée des réactifs sur la masse catalytique ou inversement par la vitesse d'élimination des produits de la réaction. Au laboratoire, il n'y aurait aucun intérêt à étudier ces processus auxiliaires ; on ne ferait que mesurer les caractéristiques d'un appareil lui-même occasionnel. Aussi se contente-t-on par quelque artifice de rendre ces vitesses extrêmement grandes, afin d'en éliminer l'influence sur la vitesse du phénomène global. Mais ceci n'est plus possible à l'échelle industrielle. De telle sorte que l'ingénieur de fabrication devra le plus souvent s'inquiéter *avant tout* des phénomènes de diffusion ou de circulation des fluides, qui n'intéressent pas son camarade du laboratoire.

Dans un autre ordre d'idées, on sait quels soins le chimiste de laboratoire accorde au rendement de ses préparations ou de ses séparations. Mais, il ne s'intéresse qu'au bilan de matière. Le bilan d'énergie n'a pour lui guère d'importance ; sur de faibles masses il serait d'ailleurs mal placé pour le déterminer. Or, il est bien évident que, dans l'industrie dont toute la tendance est d'exploiter des réactifs de très bas prix comme le charbon, le coke, le prétrole, le gaz à l'eau, le sel, le calcaire, le coût des réactifs est le plus souvent négli-

(1) En fait, la situation n'est pas si tranchée, car certains problèmes qui relèvent strictement de la table de laboratoire sont aussi fondamentalement tributaires de facteurs physiques que le chimiste a tendance à négliger *a priori*. Il me semble très probable, par exemple, que notre quasi-ignorance actuelle concernant le mécanisme de combustion du carbone et l'incohérence des résultats expérimentaux qui règne dans ce domaine tiennent surtout à ce que les auteurs se sont jusqu'ici refusés à considérer les phénomènes de diffusion des gaz dans le grain, qui est toujours poreux, de carbone.

geable devant celui de l'énergie. Le bilan d'énergie prend donc une importance *primordiale* ; c'est lui qu'il conviendra de rendre le plus favorable par un aménagement judicieux des échanges thermiques.

Ces deux exemples montrent clairement la nécessité pour l'ingénieur-chimiste du bureau d'études ou de la fabrication, d'être formé à cette discipline nouvelle qu'on convient d'appeler le « génie chimique ».

Sans doute, les cours traditionnels de chimie industrielle descriptive ont-ils gardé de leur utilité ; une large documentation est en effet toujours source d'inspiration, tant il est vrai que dans toute découverte ou invention apparemment la plus nouvelle, il y a une part de copie, à l'origine au moins. La méthode américaine de formation de l'ingénieur-chimiste (ou plus exactement de « bachelor in Chemical Engineering », puisque le titre d'ingénieur lui-même n'est jamais délivré par un établissement d'enseignement), méthode qui néglige presque complètement la chimie industrielle descriptive en la réduisant à quelques schémas élémentaires, va-t-elle sans doute trop loin dans sa réaction contre la méthode allemande qui nous est familière. Mais il est clair que la description détaillée des industries, des procédés et des méthodes n'a plus guère d'utilité. On a dit avec raison que dans ce domaine l'industrie est toujours bien en avance sur l'école. Quels que soient la compétence et le zèle du professeur, le peu d'empressement, d'ailleurs souvent justifié, que mettent les industriels à faire connaître les détails de leurs procédés, l'explique suffisamment. Quelques visites d'usines intelligemment commentées et d'indispensables stages de grandes vacances suppléeront avantageusement à d'inutiles et fastidieuses descriptions.

Le but essentiel des cours descriptifs doit être de faire retrouver à l'élève dans les démarches apparemment mystérieuses des opérations industrielles, les phénomènes et les lois physiques que les cours purement scientifiques lui ont déjà appris à connaître. L'expérience montre que l'élève ne s'y retrouve pas aisément de lui-même, ayant tendance, comme c'est naturel, de s'attacher surtout à l'aspect extérieur des choses. Or, comme l'a dit excellemment le Professeur Monteil dans sa conférence au Congrès National des Ingénieurs de Toulouse en 1949, ce « n'est pas ce que nos yeux voient qui compte vraiment, mais bien les notions invisibles » qui se cachent dans l'ordre parfois étrange des opérations et sous les particularités des appareillages.

Ce sont ces notions invisibles qu'il convient de dévoiler et d'exprimer, aussi souvent que possible, *de manière quantitative* ; ce qui revient à donner à ces cours les occasions répétées d'appliquer numériquement les lois générales de la chimie-physique et celles, plus récentes, du génie chimique. Il est très important en effet d'inculquer au jeune ingénieur, en outre des réflexes du chimiste que je définissais tout à l'heure, le « *réflexe du quantitatif* » depuis longtemps traditionnel dans d'autres spécialités.

Le mérite de l'Ecole américaine est d'avoir montré que toute industrie aussi complexe qu'elle soit, peut se décomposer en définitive en un petit nombre d'éléments simples et fondamentaux, qui se partagent eux-mêmes entre *réactions chimiques* (unit chemical processes) comme l'oxydation, la réduction, la nitration, la sulfonation, et *opérations physiques* (unit physical operations) comme la distillation, la filtration, l'évaporation, la dessication. Chacun de ces éléments peut être traité comme un tout, comme une unité, à l'intérieur de laquelle s'appliquent, quelles que soient les conditions particulières, des lois générales et quantitatives. Cette analyse rationnelle, fruit de l'esprit systématique américain, qui ramène à des éléments communs les problèmes les plus divers, est une œuvre cartésienne. N'équivaut-elle pas à « diviser chacune des difficultés en autant de parcelles qu'il se peut et qu'il est requis pour les mieux résoudre ». A ce titre, mon collègue M. René Gibert a raison de dire « qu'on aurait pu espérer que le génie chimique naquit en France ».

Les réactions chimiques « unitaires », « typiques » ou « fondamentales » (la terminologie française n'est pas, je crois, encore fixée) sont les méthodes générales de la chimie préparative dont l'organicien a fait depuis longtemps la systématique.

Par contre, les opérations physiques unitaires ont fait l'objet aux Etats-Unis d'études récentes et très remarquables. Elles restent un vaste champ de recherches extrêmement actives. Depuis 1920, puique c'est à cette date qu'on situe généralement la naissance du chemical engineering aux Etats-Unis, une nouvelle discipline s'est ainsi élaborée. Elle est fondée sur des ouvrages déjà très nombreux, celui de J. H. Perry et collaborateurs (Chemical Engineering Hand Book) et le très récent ouvrage de G. G. Brown et collaborateurs (Unit operations) la résument.

Mon collègue, le Professeur Cathala, Directeur de l'Institut du Génie Chimique de Toulouse, définit judicieusement celui-ci comme « l'art de concevoir, de calculer, dessiner, faire construire et faire fonctionner l'appareillage dans lequel s'effectue à l'échelle industrielle une réaction chimique quelconque », et j'ajouterai, « toute opération d'analyse immédiate », car il est bien évident que les opérations physiques fondamentales intéressent également les industries dites parachimiques, telles que la distillation des mélanges naturels, qui utilisent les méthodes des industries chimiques, sans qu'il y ait nécessairement transformation de la nature des corps.

Le génie chimique contient une part importante de chimie-physique que nous retrouvons ici et dont le rôle est de fournir, par mesures ou le plus souvent par calculs, les données concernant les corps et leur comportement.

Pour le reste, le génie chimique est basé sur la physique industrielle, la mécanique des fluides, la thermique et ses lois des échanges, la thermodynamique et le dessin industriel.

Jai dit tout à l'heure que la cinétique chimique commence d'y occuper une place et que nous assistons à la naissance d'une branche nouvelle du génie chimique dont il est facile de prévoir l'importance pour le proche avenir.

Enfin, étant donné que c'est évidemment le prix de revient qui décide en dernier ressort, du moins en période normale, du succès d'un procédé, l'ingénieur-chimiste devra être capable de calculer et discuter de celui-ci. C'est le rôle de l'économique.

Pour plus de détails, je renvoie dans le journal « Chimie et Industrie » (août 1951), à l'article [1] que lui a consacré mon collègue Edgard Lambert Piret, Professeur de génie chimique à l'Université de Minnesota, qui nous a très efficacement aidé pendant l'année académique 1950-1951 dans l'effort poursuivi à Nancy. Mais, comme le montre ma rapide description, le génie chimique ne doit surtout pas être considéré comme l'addition pure et simple de la chimie et du génie mécanique. Sans doute, il est nécessaire que l'ingénieur de chimie industrielle soit bien informé de mécanique, de résistance des matériaux et d'électro-technique, car il n'est pas concevable qu'il ne sache pas utiliser ces moyens généraux de l'industrie (et nous voyons là encore la nécessité pour lui des bases mathématiques et physiques indispensables pour acquérir ces connaissances). Mais le rôle de l'ingénieur du génie chimique (cette dénomination n'est pas heureuse, mais elle est commode), n'est pas de construire lui-même des appareillages et de se substituer ainsi au mécanicien constructeur. Intermédiaire entre l'ingénieur de laboratoire et l'ingénieur constructeur, son rôle sera de transposer à grande échelle la réaction chimique, afin que celle-ci donne le meilleur rendement de matière et d'énergie. Son rôle spécifique sera de définir rationnellement le dessin et les conditions de fonctionnement des réacteurs qui étaient le plus souvent laissés à l'estime.

On a dit que le « génie chimique n'est pas de la chimie », ce qui est vain. La chimie est en effet la science de transformer la nature des corps et l'art d'opérer cette transformation avec le meilleur rendement. Si l'on reconnaît à l'ingénieur-chimiste le rôle d'exercer cet art, celui-ci ne ferait qu'incomplètement sa tâche en ignorant délibérément, sous le prétexte qu'ils ne sont pas chimiques, les facteurs déterminant des rendements à une échelle donnée. La réaction chimique ne s'embarrasse pas des cloisonnements où notre esprit simplificateur tente périodiquement de l'enfermer. Elle est ce qu'elle est. A nous de savoir la maîtriser entièrement.

On dit aussi que l'industrie chimique a existé sans les données actuelles du génie chimique. Ce qui est exact. Sans leur aide, l'industrie allemande fut et est encore très puissante et prospère. Mais a-t-on jamais fait le compte des économies de matière, de

(1) J'attire également l'attention sur les très récents et excellents articles suivants :

B. Dodge : « Chimie et Industrie » (66), 1951, pp. 703 et 867.

J. Cathala : « Chemical eng. science » (1), 1951, p. 1.

temps et d'argent que permet de faire la substitution de méthodes rationnelles à l'habitude et à l'empirisme ? Les Allemands l'ont bien compris qui, à ma connaissance, font actuellement un grand effort pour rattraper leur retard dans le domaine du génie chimique.

*
**

Nous voici parvenus au terme de notre analyse ; elle nous a fait parcourir un domaine extrêmement vaste, si vaste que je ne pense pas que l'élève le plus diligent puisse l'acquérir en trois ou quatre ans. Ce serait un bourrage inhumain et de profit illusoire, le défaut de notre enseignement étant déjà, je le crains, une surcharge des horaires.

Il n'y a pas d'autre voie, je pense, pour résoudre cette difficulté, que de créer des options. Etant donné les besoins de l'industrie, deux options s'imposent. Celle d'ingénieur de laboratoire (vous noterez que je ne dis pas un ingénieur de recherches, car la recherche doit se faire à tous les stades de l'industrie et j'ai déjà noté que le domaine du génie chimique est très remarquable par les recherches qui s'y développent. N'est-il pas né précisément de ces recherches ?) — option d'ingénieur de laboratoire, dis-je, et celle d'ingénieur du bureau d'études et de fabrication. Le rôle du premier sera de porter les recherches jusqu'à leur conclusion à l'échelle du laboratoire ; le rôle du second sera de transposer ces résultats à l'échelle de la production industrielle. L'une et l'autre de ces options doivent porter le même titre d'ingénieur-chimiste, car la profession n'a pas intérêt à une fragmentation du titre, et, bien que la pénurie d'ingénieurs du second type soit actuellement vivement ressentie en Europe, les rôles respectifs de ces deux spécialités sont, dans l'absolu, d'égale importance.

Au reste, je ne pense pas qu'il puisse y avoir une scission entre ces deux spécialisations. Une large part de l'enseignement doit leur être commune. En particulier, comme cet exposé l'aura montré, le physico-chimiste de laboratoire et l'ingénieur du génie chimique auront en commun une large culture physico-chimique, mathématique et physique. Pour assurer la concordance des efforts dans l'usine, la distribution des cours à l'école doit faire que l'ingénieur de laboratoire soit prévenu des impératifs catégoriques des ateliers de fabrication, pendant que son camarade du bureau d'études et de la fabrication connaîtra les ressources qu'il peut attendre du laboratoire ; pour l'un et l'autre, c'est, je crois, une condition indispensable de leur efficacité.

Ces deux spécialisations seraient pour la France, les équivalents de ce que les Américains appellent « Chemist » et « Chemical Engineer », la terminologie américaine ne sous-entendant pas comme c'est le cas chez nous (conformément, je pense, à l'habitude allemande), que le chimiste soit un simple préparateur. Le « Chemist » américain est formé par l'enseignement supérieur, il est aussi

instruit, en particulier en physique et en mathématiques, que le « Chemical Engineer », mais dans des domaines différents.

*
**

Les matières des enseignements étant maintenant examinées, je voudrais consacrer la fin de mon exposé à des considérations qui intéressent toutes les formations d'ingénieurs, mais qui posent pour l'ingénieur-chimiste des problèmes relativement nouveaux.

Etant donné l'étendue de la chimie dans son nouvel aspect, étant donné, d'autre part, le champ extrêmement vaste que les industries chimiques embrassent maintenant et la diversité des emplois qu'elles offrent en conséquence, les écoles qui ont la charge de former les jeunes hommes qui seront demain les cadres supérieurs de ces industries, doivent avoir comme objectif de donner à ceux-ci une culture *générale*.

Je tiens à m'arrêter quelques instants sur ce terme, car c'est un piège qui recèle beaucoup de controverses inutiles. Je m'expliquerai sur des exemples.

Il n'est certainement pas question dans l'enseignement, et surtout en 3 ou 4 ans d'études, d'aller au fond de tous les sujets. Mais à certaines occasions, il est indispensable de consentir cet effort : chaque fois que les idées maîtresses et principes généraux, notions invisibles dont parle le Professeur Monteil, l'exigent. J'ai déjà donné l'exemple de la structure réticulaire pour la chimie des silicates. De même, la notion d'activité thermodynamique qui domine comme on le sait l'étude des solutions liquides ou solides, ne doit pas être présentée, comme on le fait souvent, sous prétexte de simplification, d'une manière tronquée et détournée. En allant jusqu'à la notion mère du potentiel chimique, elle apparaîtra sans arbitraire et dans toute sa signification. Alors seulement, l'étudiant saura manier aisément et en toute occasion ce nouvel outil. J'entends donc par culture générale, qu'elle doit être assez approfondie pour que les idées maîtresses et principes généraux prennent toute leur signification.

Ceci ne signifie pas qu'il faille rester dans l'abstrait. Ce serait tromper délibérément l'étudiant et faire seulement la moitié du chemin. Les étapes de la découverte sont toujours les mêmes, et c'est en les suivant que l'enseignement sera le mieux compris : l'esprit part des faits pour en dégager la théorie, puis retourne aux faits. Il est indispensable que de nombreux exercices d'application ramènent l'étudiant au concret dont il a instinctivement le goût. Alors seulement il saura se servir des abstractions qui, sans cela, resteraient pour lui des inutilités savantes et parfois tellement irréelles qu'il ne saurait même pas les reconnaître au passage lorsqu'elles n'auraient pas le vêtement qu'il est habitué à leur voir.

Au reste, ce sera l'art du Professeur que de mettre l'accent sur ce que j'appellerai les spéculations à grand rendement. Celles qui

n'intéressent plus ou n'intéressent encore que des champs étroits doivent être éliminées. Elles ne sont du ressort que des spécialistes.

J'attribue également à la culture générale la seconde qualité de *ne pas comporter de lacune grave.* Je crois qu'on peut y parvenir en développant à côté des enseignements fondamentaux, des conférences dont la matière, non sanctionnée, par un examen, n'aura d'autre but que d'informer l'étudiant de l'existence de questions qu'il n'y a pas intérêt à développer dans un cours régulier, pour la raison qu'un très petit nombre seulement d'élèves auront plus tard à en connaître au hasard des emplois ou des travaux. Ce qui importe, pour ces matières auxiliaires, est de n'être pas complètement démunis, de savoir qu'elles existent, d'en connaître la physionomie générale et surtout de savoir comment, en cas de nécessité, ou pourra se documenter rapidement à leur propos. Ainsi, je n'ai rien dit dans ce qui précède de la chimie biologique, dont on sait cependant l'importance. Il est souhaitable que cette discipline fasse l'objet pour le futur ingénieur de quelques conférences d'information générale qui ne seront surtout pas consacrées à la description des molécules organiques très compliquées spéciales à ce domaine, mais qui exposeront succinctement ce qu'il y a de spécifique dans les synthèses et dégradations biologiques. A ce propos et de manière générale, ce serait une erreur pédagogique grave que de sacrifier aux longues et traditionnelles énumérations qui intéressent tels chapitres de la chimie organique, le temps qu'on gagnerait en réduisant la thermodynamique, par exemple, à quelques formules d'application.

Pour reprendre une formule favorite du Professeur Travers, auquel l'établissement que j'ai l'honneur de diriger doit l'impulsion initiale de son orientation actuelle, le but essentiel de l'Ecole est « d'apprendre à apprendre ». Il n'y a pas de lycée où nous ayons une fois pour toutes lu toute la littérature. Nous y avons appris la manière de lire. Hommes de science et ingénieurs sommes — ou devrions être — d'irréductibles et perpétuels étudiants.

Les connaissances que le jeune ingénieur a acquises à l'Ecole ne peuvent constituer que les *assises* sur lesquelles il aura à édifier sa carrière. Sa sortie de l'école ne marque pas la fin de son effort intellectuel. Son intérêt et son devoir sont de continuer à se cultiver. L'intérêt et le devoir de ses chefs sont de l'encourager et de l'aider dans cette voie.

Ceux (et il y en a toujours et partout) qui ne viennent chercher à l'école qu'un indispensable parchemin se font une idée fausse de la profession d'ingénieur en se plaisant à la considérer uniquement sous l'angle du commandement qu'elle confère et avec le seul souci des résultats immédiatement tangibles. Il ne suffit pas de commander à des hommes et de remuer des tonnes de marchandises. A notre époque d'implacable concurrence, il appartient aussi, et de façon fondamentale, à l'ingénieur d'avoir *le souci majeur de progrès et de nouveauté.* Réflexions et recherches qui paraissent s'écarter des chemins ordinaires ne sont pas des nuages, comme le disent trop

aisément ceux qui ne voient de l'industrie que ses réalisations courantes. Il serait trop facile de faire remarquer que sans nuages il n'y a pas de pluie, et que sans pluie il n'y aurait que désert. C'est aussi un plaisant paradoxe que de pallier certaines carences en arguant que la recherche n'est pas action. La recherche est *quintessence d'action.* Et, personnellement, je ne conçois pas un ingénieur de qualité qui ne soit *à la fois* un réalisateur et un novateur. De par sa nature même, par l'abondance et la flexibilité de ses procédés, l'industrie chimique est, plus que toute autre, tributaire de la recherche.

Certains, parmi les meilleurs des promotions, prépareront une thèse d'Ingénieur-docteur ou de Docteur ès sciences, se qualifiant ainsi hautement pour la recherche. Faisant œuvre originale de travail et de réflexion, au contact direct du professeur et de ses assistants, il y gagneront, par-dessus tout, le bénéfice d'une méthode de travail.

Pour ceux qui entreront directement dans l'industrie, et particulièrement si l'établissement qui les accueille est assez vaste, leur première et souvent leur deuxième année de pratique seront, par les enseignements qu'ils en tireront, la prolongation immédiate de l'école.

Le jeune ingénieur ne doit pas se laisser absorber tout entier par la routine de son métier : par l'observation, par l'analyse rationnelle de ses observations, par la lecture, les échanges avec ses supérieurs et ses collègues, par la fréquentation des congrès et des conférences, il doit entretenir sa culture et étendre le champ de ses connaissances.

Le rôle de ses professeurs aura été de lui inculquer le goût, les possibilités techniques et la manière de le faire.

Le goût ! Par la curiosité qu'on aura fait naître. Il n'est pas agréable de faire boire qui n'a pas soif, mais l'art d'enseigner est pour une large part, *celui de donner soif.*

Les possibilités techniques ! Par la culture générale dont nous venons d'analyser le sens et par la connaissance des langues étrangères, dont je profite de dire ici l'absolue nécessité.

La manière, enfin ! Par la méthode de travail acquise à l'école, l'habitude des périodiques et des ouvrages scientifiques et techniques.

A ce dernier titre, il y aurait beaucoup d'avantages à ce que nos méthodes classiques d'enseignement évoluent. Bien des parties en sont éprouvées et bonnes, mais je souhaiterais que certaines matières qui sont offertes dans la belle ordonnance des cours *ex cathedra,* fassent place peu à peu à des présentations nouvelles qui réduiraient les horaires, mais solliciteraient plus vivement la réflexion et l'effort personnel de l'élève. Celui-ci n'en serait que mieux préparé aux travaux qu'on attend de lui dans l'industrie.

Malgré qu'elle soit très importante, je ne puis traiter ici de cette question de pédagogie. Je dois dire cependant qu'à mon sens on ne pourra jamais aller très loin dans cette réforme hautement désirable, sans un accroissement sensible du personnel enseignant, et plus particulièrement du *nombre des assistants.*

Mais, quelles que soient les méthodes, le Professeur aura accompli toute sa tâche s'il est parvenu par ses enseignements et par son exemple, à inculquer à ses élèves, en outre de connaissances techniques et par leur canal, le goût de l'étude et de l'esprit de recherche, c'est-à-dire, en bref, la *passion de connaître.*

M. LETORT.

LES LIVRES REÇUS

AUBEL (Eugène). — Les Fermentations (Coll. « Que sais-je ? ». Presses Universitaires, Paris), 150 francs.

AUGER (Pierre). — L'Homme microscopique (Biblioth. de Philosophie scientifique, Flammarion, Paris), 540 francs.

BARBIER (Daniel). — Les atmosphères stéllaires (Biblioth. de Philosophie scientifique, Flammarion, Paris), 625 francs.

BALLAY (M.), BENARD (J.), CHAUDRON (G.), DUFLOT (J.), LACOMBE (P.) et PORTEVIN (A.). — Introduction à l'étude de la Corrosion métallique dans les industries pétrolières et chimiques (S. E. D. E. S., Paris), 1.750 francs.

BOREL (Emile). — L'Imaginaire et le réel en Mathématiques et en Physique (Albin Michel Paris), 900 francs.

BRUET (Edmond). — Le Diamant (Payot, Paris), 800 francs.

CAILLEUX (André). — Les Roches (Coll. « Que sais-je ? », Presses Universitaires, Paris), 150 francs.

CAUCHOIS (Yvette). — Atomes, Spectres, Matière (Coll. Sciences d'aujourd'hui, Albin Michel, Paris), 1.800 francs.

CLARK (Austin H.) et CLARK (Leila F.). — The Butterflies of Virginia (Smithsonian Institution, Washington).

COHEN (Gaston). — Le Cuivre et le Nickel (Coll. « Que sais-je ? », Presses Universitaires, Paris), 150 francs.

DUVAL (Clément). — Manipulations de Chimie (Masson et Cie, Paris), 2.500 f.r

EINSTEIN (Albert). — Conceptions scientifiques, morales et sociales (Flammarion Paris) 575 francs.

FOUCHÉ (A.). — La Pédagogie des Mathématiques (Presses Universitaires, Paris), 300 francs.

GODEAUX (Lucien) et ROZET. — Géométrie projective (Sciences et Lettres, Liège et Masson et Cie, Paris), 2.800 francs.

GIGNOUX (Maurice) et MORET (Léon). — Géologie dauphinoise (Masson et Cie, Paris), 1.650 francs.

ILIOVICI (A.). — Electrotechnique des courants alternatifs (Eyrolles, Paris), 3.900 francs.

JOUGUET (Marc). — Traité d'Electricité théorique. Tome I : Electrostatique (Gauthier-Villars, Paris), 4.000 francs.

BERNARD LYOT (1897-1952)

par Gérard PETIAU

La Science française vient de perdre Bernard Lyot, astronome et physicien, mort subitement, près du Caire, en revenant de Karthoum, où il avait dirigé les travaux de la mission scientifique envoyée par le Bureau des Longitudes pour étudier l'éclipse de soleil du 25 février 1952.

Bernard Lyot, né à Paris le 27 février 1897, était fils d'un médecin des hôpitaux. Sorti de l'Ecole Supérieure d'Electricité en 1917 et attaché au laboratoire dirigé par le général Ferrié, il y rencontra M. Pérot, professeur à l'Ecole polytechnique et astronome qui le prit pour préparateur et l'introduisit en 120 à l'observatoire de Meudon. Benard Lyot se consacra dès lors à l'astrophysique et les appareils qu'il a créés, les résultats des recherches qu'il a poursuivies, sont aujourd'hui classiques et forment des chapitres nouveaux des traités d'Astronomie.

Elu membre de la Section d'Astronomie de l'Académie des Sciences le 6 mars 1939, Bernard Lyot avait reçu la grande médaille d'or de la Royal Astronomical Society de Londres et la médaille d'or Catherine Wolf-Bruce, conférée par l'Astronomical Society of the Pacific.

Les recherches de Bernard Lyot ont notamment porté sur deux grands domaines d'études : la polarisation de la lumière solaire diffusée par la lune et les planètes et par là la constitution des sols et des atmosphères planétaires, la couronne solaire. Pour ces recherches, il a créé et mis au point des appareils remarquables d'inspiration entièrement nouvelle.

La polarisation de la lumière diffusée par certaines parties de la lune (les Mers lunaires) avait été observée par Arago, mais celle de la lumière diffusée par les planètes n'avait pu jusqu'ici être mise en évidence. Réalisant un polarimètre très sensible, permettant l'observation d'une proportion de lumière polarisée de l'ordre du 1/1000, Bernard Lyot a pu, non seulement montrer l'existence d'une polarisation de la lumière diffusée par toutes les planètes, mais encore en suivre les variations avec les positions relatives de la planète, du soleil et de la terre (positions caractérisées par l'angle de phase ou de vision : angle que font en elles des droites issues du centre de la planète et passant par le centre du soleil et par le centre de la terre). La proportion de lumière polarisée dans la lumière diffusée varie avec la valeur de l'angle de phase et s'annule avec changement de sens du plan de polarisation pour un angle appelé angle d'inversion, caractéristique de la nature du corps diffusant.

Pour la lumière globale reçue de la lune, on trouve pendant la plus grande partie de la lunaison une polarisation partielle avec un plan de polarisation passant par le soleil et une proportion de lumière polarisée pouvant atteindre 6,6 % pour la lune croissante, et 8,8 % pour la lune décroissante, ces maxima étant atteints au voisinage des quartiers. La polarisation diminue quand on approche de la pleine lune et s'annule pour un angle d'inversion V de 23° 30', c'est-à-dire deux jours environ avant et après la pleine lune. Pour les valeurs de V inférieure à ce nombre, la polarisation existe mais avec un plan de polarisation perpendiculaire au plan passant par le soleil, cette polarisation inversée atteignant une proportion maximum de 1,2 %.

L'étude séparée des diverses parties de la lune montre que bien que la direction du plan de polarisation soit partout la même et que l'inversion du plan de polarisation ait lieu partout en même temps, la proportion de

lumière polarisée varie d'un lieu à un autre. Elle est plus grande dans les parties sombres ou mers, dans lesquelles elle peut atteindre jusqu'à 17 % et elle est beaucoup plus faible dans les parties claires.

Bernard Lyot a cherché parmi les matériaux dont la présence sur la lune est vraisemblable, ceux dont les propriétés optiques de polarisation de la lumière diffusée étaient analogues. Il a montré notamment que la lave ne convient pas mais que les poussières volcaniques de diverses compositions ont des propriétés analogues à celles présentées par la surface de la lune.

Etudiant par les mêmes procédés la polarisation de la lumière diffusée par les planètes, il a montré que la planète Mercure et, à un degré moindre, la planète Mars présentaient les mêmes caractères que la Lune. La planète Vénus a montré une polarisation très différente présentant notamment quatre angles d'inversion. La polarisation observée montre des analogies avec celle que donne les nuages de gouttelettes d'eau. L'examen de la lumière diffusée par ls grosses planètes Jupiter et Saturne, plus difficile, a également fait l'objet des travaux de Bernard Lyot. L'observation de Jupiter rend probable l'existence d'une diffusion par une atmosphère épaisse. Les deux moitiés de l'anneau de Saturne ont présenté des polarisations différentes révélant une différence de nature.

Cette série de recherches a demandé à Bernard Lyot de très nombreuses mesures et plus de huit ans d'efforts continus.

A partir de 1930, Bernard Lyot s'est consacré à l'étude de la couronne solaire. On sait qu'il existe autour du soleil deux enveloppes lumineuses distinctes. La première, à partir de la surface ou chromosphère, relativement très mince (son épaisseur est de l'ordre de 1/200 du diamètre solaire) est de beaucoup la plus lumineuse. C'est sur elle que s'appuient les protubérances. La seconde enveloppe ou couronne a un éclat beaucoup plus faible qui diminue très vite de la base vers l'extérieur. Le spectre de la couronne observé pour la première fois en 1869 est surtout continu, mais contient des raies d'émission, notamment deux raies verte et rouge longtemps attribuées à un élément hypothétique appelé coronium, mais maintenant reconnues émises par des atomes connus dans des états d'ionisation d'ordres très élevés. Les nombreuses tentatives pour essayer d'obtenir des images de la couronne en dehors des éclipses n'avaient donné jusqu'alors aucun résultat quand en 1930 et 1931 Bernard Lyot réalisa son coronographe. Ayant vérifié que les causes déterminantes des échecs antérieurs étaient la diffusion de la lumière par des particules solides en suspension dans l'atmosphère ainsi que la diffusion et la diffraction dans les appareils d'observations, Bernard Lyot réussit à photographier directement la couronne en réduisant au minimum les diffusions instrumentale et atmosphérique et en amplifiant les contrastes de l'image par un procédé approprié. L'objectif de son appareil était constitué par une lentille simple taillée dans un verre d'optique spécial et travaillée avec le plus grand soin. Cette lentille formait une image du soleil sur un écran circulaire d'un diamètre très légèrement supérieur à celui du disque solaire. Un jeu d'objectifs et un diaphragme éliminait la lumière diffractée parasite. la diffusion par les particules atmosphériques était évitée par l'installation de l'appareil à l'Observatoire du Pic du Midi de Bigorre (2.852 m. d'altitude). Bernard Lyot ayant associé un spectrographe à son instrument, obtint les raies verte et rouge de la couronne et put étudier la répartition de leur intensité autour du disque solaire.

Par des modifications successives, transformant son spectrographe en spectrohéliographe, Bernard Lyot a pu obtenir des images monochromatiques de la couronnes avec les raies verte et rouge à de grandes distances du bord et réussit même à obtenir des images directes des parties les plus intenses de la couronne avec un simple écran rouge.

Renonçant à l'artifice du coronographe et réalisant un monochromateur basé sur l'emploi d'une série de polariseurs formés de lames de spath d'Islande et de quartz, Bernard Lyot put, dans ses dernières années, réaliser

un appareil isolant à volonté dans le spectre des bandes étroites. Il a ainsi obtenu des résultats remarquables permettant notamment de suivre, par l'utilisation de films, l'évolution de la forme et de l'aspect de la couronne.

Dans ses derniers mois, Bernard Lyot avait préparé l'observation de l'éclipse du 25 février dernier. Les observations réalisées sous sa direction au moyen d'une lunette éclairée par un cœlostat, équipée de son filtre monochromatique et d'un séparateur de radiations isolant deux bandes spectrales de 2 Å centrées sur les raies verte et rouge de la couronne, devaient permettre l'étude des relations entre la couronne et la chromosphère. Il étudiait les clichés obtenus lorsque la mort l'a surpris.

L'Astronomie, la Physique et la Science française font en lui une perte irréparable.

Gérard PETIAU.

LES LIVRES REÇUS (Suite)

JESSOP (H. T.) et HARRIS (F. G.). — Photoélasticité (Dunod, Paris), relié toile : 2.350 francs.

LAVILLE (Charles). — L'Homme, son origine, ses moyens et ses fins (Emile Paul, Paris).

LOVELL et CLEGG. — Radio Astronomy (Chapman et Hall, Londres) 10 sh.

MILLOT (Jacques). — Biologie des races humaines (Coll. Armand Colin, Paris).

NEGRE (R.). — Les associations végétales du Massif de Sainte Victoire (Lechevalier, Paris), 1.500 francs.

PASCAL (Paul). — Chimie générale. IV. Application de la théorie des ions, Systèmes dispersés (Masson et Cie, Paris), 2.200 francs.

PESEZ (H.) et POIRIER (P.). — Méthodes et réactions de l'Analyse organique. I. Méthodes de l'Analyse générale (Masson et Cie, Paris), 1.800 francs.

SHAWARBY (M. Y.). — Soil Chemistry (Chapman et Hall, Londres), 32 sh.

SHEPAR (Harold H.). — The Chemistry and action of Insecticides (Mc Graw Hill Book C°, New-York, Londres), 16 sh.

SPENCER BARBER (Herbert). — North American Fireflies of the Genuq Photuris (Smithsonian Institution, Washington).

TERRIEN (Jean). — La Spectroscopie (Coll. « Que sais-je ? », Presses Universitaires, Paris), 150 francs.

THIRING (M. W.). — Le Science of flames and furnaces (Chapman et Hall, Londres), 42 sh.

TISCHLER (Dr Georg). — Allegemeine Pflanzenkaryologie. 2. Halfte : Hernteilung und Kernverschmelzung, Erste Lieferung (Naturwissenchaftlicher Verlag, Berlin), 58 mark.

TROMBE (Félix). — Traité de Spéologie (Payot, Paris), 1.200 francs.

VAUX WALCOTT (Charles D. et Mary). — Middle Cambrian Stratigraphy and Faynas of the Canadian Rocky Mountains (Smithsonian Institution, (Washington).

WEYL (A. R.). — Engins téléguidés. Avions robot (Dunod, Paris), 1.150 francs.

LES LIVRES

BARETS (J.). — Le béton précontraint. — Eyrolles, édit. Paris, 1950. 162 pages. Prix : 950 francs.

Si, à une pièce de construction censée prise dans son **état naturel** (c'est-à-dire dans un état tel que tous les efforts intérieurs sont nuls), on applique les charges en vue desquelles la pièce a été établie, il naît un **état contraint** dans lequel apparaissent, notamment, des efforts intérieurs des deux signes, tension et compression. Le principe de la précontrainte consiste à créer à l'intérieur de la pièce, par des procédés appropriés, des contraintes préalables de signe tel qu'après application de la charge utile il s'établisse un état d'équilibre général plus favorable. Dans le béton armé, où le point faible est la mise en tension du béton, ce qu'on recherche, bien entendu, c'est à faire qu'en service le béton soit toujours comprimé. Si le principe du béton précontraint est simple, sa réalisation pratique, due principalement à M. Freyssinet, ne laisse pas, pour diverses raisons, que d'être assez délicate. L'auteur du présent ouvrage s'est efforcé, en un petit nombre de pages, de mettre la nouvelle technique à la portée des constructeurs qui l'ignorent encore, et il apparaît qu'il a, en général, atteint son but.

G. GUILLAUMIN.

Emile BOREL, membre de l'Institut. — **Les nombres inaccessibles.** — Un vol. 16 × 25 dans la Collection de Monogr. sur la th. des fonctions (sous la direction de l'auteur). — 141 pages, Gauthier-Villars, Paris 1952.

Dans cet ouvrage, l'auteur reprend, au sujet des principes de l'Analyse mathématique et de la définition des nombres, l'exposé d'un certain nombre d'idées qu'il avait déjà formulées en d'autres ouvrages de sa collection, mais qu'il approfondit maintenant à divers titres. « Les mathématiciens, en conservant le droit d'élaborer des théories abstraites déduites d'axiomes arbitraires non contradictoires, ont intérêt à distinguer, parmi les êtres de raison, ceux qui sont véritablement accessibles... ; on est ainsi conduit à définir une science de l'accessible et du réel au-delà de laquelle il reste possible de définir une science de l'imaginé, ces deux sciences pouvant, dans certains cas, se prêter un appui mutuel. »

A ce point de vue, une fois mis à part les nombres accessibles, inclus dans un ensemble au plus dénombrable, on abandonne, en les taxant **d'inaccessibles**, les nombres de l'ensemble complémentaire : aucun d'eux ne peut être défini avec précision, de manière à donner à des mathématiciens qui en parlent la certitude de parler d'un même nombre. L'idée maîtresse consiste ici à montrer que le calcul des probabilités permet d'étudier un ensemble dont les éléments individuels restent inaccessibles. La liaison connue entre la question du choix et la probabilité conduit alors, chemin faisant, à examiner certains aspects de l'axiome de choix de Zermelo.

Ces rapides indications suffisent à faire comprendre que ce livre très riche offrira de nombreux thèmes de méditation à tous ceux qu'intéressent la Philosophie mathématique.

G. BOULIGAND.

BRODEAU (André). — Vibrations des solides déformables, isotropes et anisotropes homogènes et hétérogènes. — Un vol. 146 p.
Publications Scientifiques et Techniques du Ministère de l'Air, n° 254, 1951. Service de Documentation et d'Information technique de l'Aéronautique, édit.

Dans ce volume, M. A. Brodeau expose d'une façon remarquablement claire les caractéristiques de la propagation des ondes élastiques dans les solides isotropes et anisotropes, homogènes et inhomogènes. Après l'examen au chapitre I de la propagation des ondes planes et sphériques dans les corps isotropes et homogènes et l'exposé de la théorie des vibrations et de la propagation des vibrations longitudinales dans les cylindres pleins ou creux, le chapitre II expose la théorie de la propagation des vibrations dans les corps isotropes et homogènes, de propriétés mécaniques différentes, séparés par des frontières planes et notamment dans les corps feuilletés. Le chapitre III donne les équations générales de la propagation des ondes longitudinales et tranversales dans les solides isotropes non homogènes. Ses équations sont appliquées au chapitre IV, à l'étude de la propagation des ondes planes dans les corps fibreux et notamment aux vibrations longitudinales des cylindres. Le chapitre V expose la théorie de la propagation des ondes planes et des vibrations longitudinales des cylindres dans le cas des corps appartenant au système cubique. Les chapitres VI, VII et VIII examinent les mêmes problèmes pour les cas des corps fibro-stratifiés homogènes et non homogènes, et des corps anisotropes quelconques. Le chapitre IX donne les résultats expérimentaux d'une étude sur la propagation des ébranlements dans les cylindres en caoutchouc.

G. PETIAU.

Louis de BROGLIE. — La théorie des particules de spin 1/2 (Electrons de Dirac). — 1 vol. in 8° (16 × 25) de 164 p., Paris, 1952. Gauthier-Villars, Edit. Prix : 1.800 francs.

M. Louis de Broglie a déjà donné, dans un ouvrage bien connu (L'électron magnétique, Paris, Hermann, 1934), un exposé aujourd'hui classique de la mécanique ondulatoire relativiste à l'électron de Dirac.

Dans ce nouveau livre qui correspond au cours qu'il a professé à l'Institut Henri Poincaré pendant l'année 1949-1950, il reprend l'étude de la mécanique ondulatoire des particules de Dirac de spin 1/2, en la complétant par un examen approfondi de la théorie quantique et relativiste des moments cinétiques et du spin, et par une discussion critique des possibilités de mesure directe des spins et du passage à l'approximation de l'optique géométrique en mécanique ondulatoire relativiste.

Après un rappel des principes fondamentaux et du formalisme général de la mécanique ondulatoire aux chapitres 1 et 2, M. Louis de Broglie expose aux chapitres 3 et 4 la théorie quantique des moments cinétiques propres et discute différents aspects de la théorie relativiste générale des moments cinétiques, notamment la théorie de M. J. V. Weyssenhoff. Les chapitres 5 à 8 développent les principes et le formalisme général de la théorie de Dirac : Introduction et propriétés principales de la particule de spin 1/2, formalisme et interprétation physique de cette théorie, existence et interprétation des ondes à énergie négative, tremblement de Schrödinger. Le chapitre 9 discute les possibilités de mesure du spin de l'électron dans différents schémas expérimentaux possibles. Cette discussion est reprise au chapitre 10 par l'étude du passage à l'approximation dite de l'optique géométrique en mécanique ondulatoire relativiste. Un calcul précis semble montrer que ce passage conduit à la mécanique ponctuelle de Weyssenhoff dans laquelle l'existence du spin apparaît, plutôt qu'à la mécanique ondulatoire sans spin de M. Pauli, bien que les conditions expérimentales dans lesquelles cette distinction pourrait être mise en évidence soient probablement assez difficiles à réaliser.

G. PETIAU.

Maurice de BROGLIE. — Les premiers Congrès de Physique Solvay et l'orientation de la physique depuis 1911. — Cahiers de la Collection Sciences d'aujourd'hui, dirigés par André George. — 1 vol. 126 p., XL pl., Paris 1951, Albin Michel, Edit. Prix : 585 francs.

Le grand industriel belge Ernest Solvay, né en 1838, et mort en 1922, a consacré une grande partie de sa fortune à la fondation d'Instituts Scientifiques internationaux. Il a notamment créé les Conseils Solvay qui groupent périodiquement une vingtaine de savants, choisis parmi les plus réputés, pour des séances d'exposés et de discussions sur des sujets de physique ou de chimie particulièrement importants. Les comptes rendus de ces réunions font ensuite l'objet de publications spéciales.

Le premier Conseil de Physique Solvay se réunit à Bruxelles. Il eut pour secrétaire M. Maurice de Broglie, et pour membres M. H. A. Lorentz, président, Mme P. Curie, MM. M. Brillouin, A. Einstein, F. Hasenöhrl, J. H. Jeans, M. Knudsen, P. Langevin, F. A. Lindemann, W. Nernst, H. Kamerlingh Onnes, J. Perrin, M. Planck, H. Poincaré. H. Rubens, E. Rutherford, A. Sommerfeld. E. Warburg, W. Wien, R. Goldschmidt, Lord Rayleigh. J. O. Van der Waals, savants dont les travaux eurent une influence déterminante sur l'évolution de la physique des quarante dernières années. Les discussions de ce premier congrès portèrent principalement sur les difficultés que rencontraient à cette époque les théories du rayonnement basées sur l'électro-magnétisme classique et sur l'introduction des quanta d'énergie dont les travaux récents de Planck et d'Einstein montraient la nécessité. Les rapports et discussions de ce premier congrès ont été publiées à Paris sous le titre : « La Théorie du rayonnement et les quanta ».

M. Maurice de Broglie nous donne aujourd'hui dans cet ouvrage remarquablement intéressant, après un bref historique des Conseils Solvay tenus de 1911 à 1933, les textes des discours et une suite de biographies accompagnées de portraits et d'autographes des participants au premier Conseil de 1911.

G. PETIAU.

Paul COUDERC, Astronome à l'Observatoire de Paris. : **L'Astrologie.** — Un vol. 13 × 18 de 128 p. Dans la Collection « Que sais-je ? ». Presses Universitaires de France. Prix :

En face des principaux faits de la cosmographie, l'auteur situe à leur juste place les « doctrines » astrologiques. Il esquisse l'histoire de l'astrologie ; il montre la faiblesse de ses affirmations et des croyances que les astrologues voudraient entretenir. Si son emprise décroit, l'astrologie n'en demeure pas moins un grave problème social. Non seulement, l'astrologie draine chez de pauvres gens des deniers qui auraient pu servir à leur santé, mais elle trouble les esprits, démoralise les faibles, constitue un danger médical. Félicitons l'auteur d'avoir rappelé le droit du peuple à être protégé contre des charlatans avides de gain.

G. BOULIGAND.

DAUVILLIER (Alexandre). — Variations et Origine du rayonnement cosmique. Conférences-rapports présentées devant la Société Française de Physique les 3 et 10 mai 1946, revues et complétées en 1950. — 1 fasc. 83 p., Paris, 1951. Editions de la Revue d'optique théorique et instrumentale.

L'origine du rayonnement cosmique constitue l'un des grands problèmes de la Physique moderne. En effet, il est très difficile d'atteindre les caractéristiques du rayonnement primaire, celui-ci étant transformé dans la traversée de l'atmosphère de telle sorte que l'intensité et la composition des

rayonnements secondaires dépendent des conditions météorologiques générales et locales (pression, température, éclairement, magnétisme terrestre). Il en résulte dans le rayonnement observé au sol des variations périodiques et d'autres non périodiques liées notamment aux orages magnétiques. Dans ce fascicule, M. A. Dauvillier expose l'état actuel de nos connaissances sur ces variations et examine les différentes hypothèses proposées sur l'origine au rayonnement primaire. Parmi celles-ci, M. Dauvillier considère comme vraisemblables celles qui voient la source des émissions cosmiques irrégulières dans les éruptions chromosphériques du soleil et des étoiles de la classe G, et des émissions cosmiques régulières dans les étoiles magnétiques variables du type découvert par H. W. Babcock, qui se comporteraient comme des accélérateurs cosmiques de grande puissance.

G. PETIAU.

DESTOUCHES- FEVRIER (Paulette). — La Structure des théories physiques. — Préface de Louis de Broglie. — Collection Philosophie de la matière, dirigée par Raymond Bayer. — Presses Universitaires de France. — Un vol. 423 p., Paris, 1951. Prix : 1.400 francs.

D'après l'auteur de cet ouvrage, les théories de la physique quantique présenteraient une structure très différente de celle de la physique classique. D'une part, elles nécessiteraient l'emploi de logiques nouvelles adaptées à l'existence des relations d'incertitude de Heisenberg et, d'autre part, elles contiendraient des éléments plus généreux relevant d'une sorte de théorie des théories manifestant l'existence des caractères intrinsèques d'un réel physique.

Il en résulterait pour la physique théorique une méthodologie complexe associant à des formalismes logiques nouveaux des suites de théorèmes sur une certaine structure, communes aux théories physiques possibles. Je crois toutefois que ces théorèmes ne résultent pas, le plus souvent, de démonstrations à partir d'une base axiomatique simple, mais ne sont que des traductions en langage formel d'enchaînements de choix de caractères, qualifiés de fondamentaux pour certains objets considérés comme éléments constitutifs du réel. Je pense donc personnellement que cette théorie est en grande partie arbitraire. Toutefois, je doit dire que l'ouvrage de Mme Destouches-Février ne fait que donner un exposé condensé et partiel d'un immense système physico-logique édifié par M. J. L. Destouches, dans une série d'ouvrages et publications. De plus, ses élèves l'ont encore développé dans de copieuses exégèses. Il en résulte aujourd'hui une école utilisant un langage particulier, assez hermétique, s'appuyant sur des références enchaînées, et développant un système dont la valeur est très difficile à apprécier. En effet, il est vraisemblable que très peu de lecteurs, spécialistes de philosophie, possèdent les connaissances précises indispensables à la discussion très délicate des problèmes de la théorie quantique. (Par exemple, le théorème de M. Von Neumann, sur lequel semble s'appuyer **actuellement** la théorie de M. J. L. Destouches, après avoir été accepté pendant vingt ans, est l'objet de la part des physiciens depuis quelques mois de discussions qui conduisent à en limiter considérablement la portée.) D'autre part, les chercheurs qui créent la théorie physique acceptent dans celle-ci des contradictions internes qu'ils espèrent voir levées dans l'avenir, et n'ont jamais utilisé de logique autre que la logique classique. Pour les physiciens, ce formalisme n'est pas nécessaire. Il est toutefois possible qu'il soit satisfaisant pour des philosophes qui estiment souhaitable et possible une axiomatisation des sciences physiques (mais alors celle-ci ne serait probablement pas univoque). Dans ce cas, l'ouvrage de Mme Destouches-Février, avec ses 400 symboles, constitue peut-être l'introduction à l'étude de la physique de l'avenir.

G. PETIAU.

DUBOIS (Maurice). — Jets gazeux sensibles aux sons et aux ultra-sons. — Préface de M. A. Foch. — Publications Scientifiques et Techniques du Ministère de l'Air, n° 249, 1 fasc., 65 p. Paris, 1951.

M. Dubois expose dans ce fascicule les résultats des recherches systématiques qu'il a poursuivies sur les conditions et le mécanisme de la sensibilité des jets gazeux aux sons et aux ultra-sons. Dans ce phénomène, un jet de vitesse convenable, issu d'un orifice régulier, rectiligne et lisse sur une certaine longueur, s'ouvre brusquement en un panache tourbillonnant en un point bien déterminé de son parcours sous l'action du son, et comme le montre M. Dubois, également sous l'action des ultra-sons. A l'examen, ce phénomène se révèle complexe et on y distingue notamment : une ondulation transversale du jet traduite par l'action du son et prenant naissance à l'orifice, origine du jet, la progression de ces ondulations avec amplification au long du jet, la détermination d'un état d'instabilité dans le jet qui devient turbulent et s'ouvre en panache, le son ne faisant que déclancher cette turbulence. M. Dubois précise l'étendue de la sensibilité des jets et examine les cas des jets d'air, de butane et d'hydrogène. Une discussion de la liaison entre les phénomènes de sensibilité et d'auto-oscillation des jets le conduit à des expériences dont les résultats complètent son exposé.

G. PETIAU.

J. DUBOURDIEU, Professeur au Conservatoire A. et M. — **Théorie mathématique des assurances** (livre I : risque dans les assurances de réparation). Fasc VIII des Monogr. sur les probabilités. — Un in-8° 16 × 25 de 306 p. Gauthier-Villars, 1952. Prix :

L'exposé donné par l'auteur au sujet de la théorie du risque tient compte du fait qu'elle en est à un tournant et qu'à ce titre, elle mérite une sérieuse attention. On a pu craindre d'une part, la disproportion entre l'appareil analytique qu'il faut mettre en œuvre et les résultats pratiques pouvant en découler ; d'autre part, la précarité des hypothèses admises à la base. Mais ce qu'on cherche, c'est surtout la nature du risque très spécial qui se présente ici et la physionomie originale des problèmes afférents : on vise à les préciser, en transposant du plan de l'empirisme sur le plan rationnel les questions qui en font l'objet. Cette tendance projette une lumière appréciable sur diverses discussions fondamentales, en autres, le problème des **pleins** et de la **réassurance,** alors même qu'on en réduit la complexité par des hypothèses un peu schématiques. Et le point de vue adopté est aussi très stimulant pour le lecteur, en situant au mieux les soucis techniques par rapport aux grandes lignes de la théorie des probabilités et montrant que le domaine des assurances en est un des champs d'applications les plus séduisants, où le recours à des méthodes générales améliorera notablement les procédés de gestion des entreprises.

Après rappel des principes de la théorie des assurances (ch. I et II), l'auteur illustre ces principes par quelques schémas applicables aux assurances de dommage (ch. III), puis se place au cœur même de la théorie du risque, en étudiant d'abord au point de vue classique (ch. IV), puis d'une manière plus fine, mieux adaptée aux soucis de pérennité (ch. V), le problème des pleins et de la réassurance. L'auteur prolonge ici des travaux de M. de Finetti. Dans le ch. VI, il expose la théorie collective du risque, d'après les travaux de M. Cramer et de son école. Une note originale de l'auteur, inspirée par les modalités de l'assurance accidents, montre le rôle des fonctions absolument monotones en théorie des processus stochastiques discontinus.

Cet ouvrage n'intéressera pas seulement les actuaires. Les mathématiciens auront tôt fait d'en reconnaître la haute portée !

G. BOULIGAND.

Albert EINSTEIN. — Sur le problème cosmologique. — Théorie de la gravitation généralisée. — Traduit de l'anglais, par Maurice Solovien. — 1 fasc. 50p., Paris 1951, Gauthiers-Villars. Edit. Prix : 500 francs.

Dans ce fascicule, M. Solovine nous donne la traduction française de deux importants mémoires d'A. Einstein, portant sur deux extensions de la relativité générale de natures très différentes.

Le premier mémoire examine le problème cosmologique : L'hypothèse fortement suggérée par l'expérience de l'existence dans l'espace d'une densité moyenne de matière différente de zéro est-elle conciliable avec la théorie de la relativité générale ? Une première tentative de solution reposait sur l'addition d'un « terme cosmologique ». $\lambda\, g_{ik}$ dans les équations générales de la gravitation. Mais l'introduction de ce terme était assez superficielle et réduisait considérablement la simplicité de la théorie. Pour éviter ces difficultés, Friedmann a proposé une hypothèse très différente : l'univers ne serait isotrope que du point de vue spatial, et la densité de matière serait variable au cours du temps, et par suite l'expression du champ métrique serait susceptible de dépendre du temps. La découverte par Hubble, de l'acroissement avec l'éloignement du déplacement vers le rouge des raies spectrales interprété comme causé par une expansion spatiale du système d'étoiles a justifié l'hypothèse de Friedmann. Ici, M. A. Einstein nous donne un exposé remarquablement clair du développement mathématique de cette hypothèse et discute notamment ses conséquences sur l'âge que l'on doit attribuer à l'univers.

Le second mémoire expose le formalisme mathématique d'une nouvelle théorie unitaire proposée ces dernières années par M. A. Einstein, et qui a sucité depuis de nombreux travaux. On sait que la théorie de la relativité générale proprement dite décrit l'espace physique au moyen d'un espace de Riemann. Le tenseur métrique g_{ik} de celui-ci est déterminé par une équation dont le second membre est un tenseur symétrique représentant l'énergie qui engendre le champ de gravitation, tout en étant elle-même de nature non gravifique. Dès les débuts de la théorie de la relativité générale, de nombreux auteurs, et M. Einstein lui-même, se sont proposés de rechercher, si par l'assimilation de l'espace physique à un espace mathématique plus général que l'espace de Riemann, on ne pourrait obtenir par une propriété mathématique simple, une expression globale des lois de la gravitation, de l'électromagnétisme et, éventuellement, des forces nucléaires. Dans une telle théorie, l'existence de la matière serait elle-même l'expression d'une propriété mathématique de l'espace. Toutes les tentatives faites jusqu'ici, quoique très intéressantes, n'avaient pu formuler une synthèse vraiment globale et non d'aspect artificiel de l'électromagnétisme et de la gravitation. La nouvelle théorie de M. A. Einstein fournit très simplement la synthèse cherchée, en attribuant à l'espace une structure non symétrique par l'introduction d'un tenseur métrique g_{ik} et d'une connexion affine, définie par les coefficients Γ^l_{ik} que ne sont plus symétriques en i et k. Les nouvelles équations de la gravitation et de l'électromagnétisme liées sont alors déduites d'une généralisation naturelle des conditions imposées dans la théorie de la relativité générale au tenseur de courbure. M. A. Einstein examine en détail la structure de ces équations et les caractères de leurs solutions. Nous signalerons que la recherche des solutions de ces équations, ainsi que le développement de cette nouvelle théorie de M. Einstein, a fait l'objet en France, d'importants travaux de Mme Tonnelat, que l'on trouvera exposés notamment dans des articles publiés au Journal de Physique. G. PETIAU.

FERRIS (G. F.). — The sucking Lice (Les Poux). — Memoirs of the Pacific Coast Entomological Society. — Vol. I, 320 p., 124 fig. ; San-Francisco, Californie. Oct. 1951.

Cet ouvrage constitue une fort importante étude monographique d'un groupe d'Insectes parasites, qui constituent l'ordre des Anoploures, ou Poux proprement dits. Ceux-ci, tous suçeurs de sang, étant bien distincts des

Mallophages, rongeurs de débris épidermiques, et communément disignés sous le nom de Poux d'Oiseaux.

La morphologie et l'anatomie de ces insectes présentent de nombreuses particularités, notamment en ce qui concerne la structure de la tête et des pièces buccales profondément modifiées. L'auteur leur a consacré un chapitre remarquablement illustré, et qui apporte de nombreuses données et conceptions originales. La croissance et le développement de quelques espèces parmi les plus importantes sont également exposées en détail. Les chapitres suivants forment une étude systématique détaillée des quelques 225 espèces de poux suçeurs de sang actuellement connues. Il n'existait sur ce sujet aucune mise au point récente, de telle sorte que ce travail très clair et bien illustré est appelé à rendre les plus grands services aux entomologistes et aux parasitologistes. Une liste très complète des hôtes, et des tables alphabétiques détaillées contribuent à faire de cet ouvrage un outil indispensable et facile à employer.

J. CARAYON.

GRIVEAUD (L.). — Traité pratique de construction et aménagement des usines. — Un vol. cartonné, 703 p. Librairie polytechnique Ch Béranger, Paris et Liège, 1951. Prix : 4.100 francs.

Le titre de l'ouvrage, destiné aux constructeurs d'usines, indique très précisément son objet. L'auteur traite largement des secteurs des établissements industriels communs à tous les genres d'usines, mais aussi, à l'occasion, de ce qui se rapporte à chaque spécialité.

La première partie (trois chapitres) concerne l'élaboration du projet de l'usine et l'exécution des travaux de construction : magasins, ateliers, bâtiments de transformation des matières, bâtiments annexes et installation accessoires. La seconde partie (un chapitre) traite des moyens de manutentions extérieures et intérieures et des transmissions diverses. Avec le troisième partie (un chapitre), on aborde les importantes questions d'hygiène, de salubrité et de confort : éclairage, chauffage, aération, etc... Un dernier chapitre est consacré à l'utilisation de la chaleur pour l'énergie, le chauffage et les transformations chimiques.

Il s'agit ici d'une seconde édition amputée d'un chapitre de la première édition relatif aux usines hydrauliques et électriques. Dans ces conditions, le présent livre eût peut-être gagné, afin de former un tout, à être complété par quelques indications sur les installations électriques de force motrice haute tension, d'un emploi courant dans les usines modernes de quelque importance.

Le genre de livre auquel appartient l'ouvrage de M. Griveaud est souvent de lecture fastidieuse par suite de la nécessité d'y accumuler une foule de détails dont chacun, pris en particulier, est de faible intérêt. L'auteur a su éviter cet écueil, grâce, notamment, à un classement clair et logique des différentes matières.

G. GUILLAUMIN.

GUINIER (Georges). — Eléments de Physique moderne théorique. — Préface de Louis de Broglie. — Statistiques quantiques. — Un vol. de 174 p., Bibliothèque de la Science Moderne, Bordas Edit., Paris 1951.

Nous avons déjà examiné ici les deux premières parties de l'excellente introduction à la physique moderne que constitue l'ouvrage de M. Guinier. La troisième partie, qui vient de paraître, est consacrée à l'exposé élémentaire des statistiques quantiques et de leurs principales applications.

Après l'introduction au chapitre 7 des mécaniques statistiques de Maxwell-Boltzmann, de Bose-Einstein et de Fermi-Dirac, M. Guinier examine, au chapitre 8, les théories élémentaires de la chaleur spécifique des corps

solides (théories d'Einstein, de Debye, de L. Brillouin), puis au chapitre 9, la théorie de la chaleur spécifique des gaz parfaits et notamment les conditions dans lesquelles se manifeste la théorie du rayonnement du corps noir, et le chapitre II donne un exposé simple des éléments de la théorie électronique des métaux selon les travaux de M. L. Brillouin.

Un appendice expose les diverses méthodes qui ont permis la détermination des constantes fondamentales.

G. PETIAU.

MEUNIER (L.) et VANEY (C). — La Tannerie, 2 volume ; un volume in-8° (25 × 16) de 583 pages et 128 figures, 3e édition. Edit. Gauthier-Villars, Paris 1950. Prix, broché : 2.300 francs.

La troisième édition (1950) de « **La Tannerie** » conserve, dans ses grandes lignes, l'orientation et la présentation de la deuxième édition (1936). Cependant, certains chapitres ont été révisés et complétés pour tenir compte de tous les travaux publiés en France et à l'étranger pendant ces dernières années.

Dans le chapitre II (Matériel et machines utilisées en Tannerie) un certain nombre de figures ont été remplacées par des figures représentant les modèles les plus récents dont les clichés ont été obligeamment prêtés par les constructeurs spécialisés.

La partie traitant du séchage des cuirs a été augmentée d'une étude sur le séchage aux rayons infra-rouges et ses possibilités d'application en tannerie.

Le chapitre IV a été complété en différents points ; on y trouvera une description du nouveau mode de préparation des liqueurs de chrome à partir du ferrochrome, et une description complète des procédés actuellement appliqués dans le travail de rivière, le tannage, la teinture et le finissage du box-calf noir et couleur. Le procédé moderne de séchage des peaux par collage sur des plaques de verre, ou en tôle émaillée, connu sous le nom de procédé « pasting », est décrit dans la fabrication de la vachette façon box.

L'application du tannage au fer, telle qu'elle a été mise au point par l'Institut de Recherches de Lyon, est décrite avec soin et permet d'appliquer la méthode à quelques cas particulièrement intéressants.

Enfin, le chapitre VII traitant de la Mégisserie et du Chamoisage a été assez profondément remanié en ce qui concerne les finissages des peausseries de tannage mixte alun-chrome, pour la ganterie et pour le métis velours.

Le lecteur lira également avec intérêt la description des plus récentes méthodes de tannage au chrome qui sont à la base des fabrications dénommées : glacé direct, suède direct, stain ganterie, ainsi que la description des méthodes de tannage au formol, de teinture et de finissage des peausseries « Dœskin ».

E. CATTELAIN.

H. PIÉRON, Directeur de l'Inst. de Psychologie de l'Université de Paris. — **Vocabulaire de la Psychologie.** — Un vol. 16 × 25 de 357 p., avec annexes diverses. Presses Universitaire, Paris, 1951. Prix : broché : 1.300 francs.

La question du langage scientifique est d'importance : ce langage évolue, mais assez lentement pour que ses fluctuations se laissent endiguer pendant quelques décades. On peut alors mesurer l'efficacité, variable d'un domaine à l'autre, de tentatives de ce genre. En mathématiques, on peut atteindre un bon résultat, cela est déjà plus difficile dans les sciences physiques et la difficulté s'aggrave dans les sciences naturelles. Dans la Préface qu'il consacre au présent ouvrage, M. H. Piéron rappelle le soin avec lequel fût préparé le Dictionary of Psychology de Warren, et il note que, publié en 1934, cet ouvrage a déjà beaucoup vieilli.

Le vocabulaire de M. H. Piéron vise surtout à constituer un instrument de travail pour toute personne ayant à lire des articles ou des livres de psychologie. Ce vocabulaire a bénéficié de la collaboration, avec son éminent auteur, de plusieurs membres de l'Association des Travailleurs scientifiques. Un grand nombre de mots, sans appartenir au langage propre de la psychologie, interviennent dans les textes qui s'y rapportent et y jouent un rôle essentiel (ex. : mots empruntés à des domaines adjacents physiologie, sensorimétrie, neurologie...) : c'est pourquoi ils ont été adjoints au présent recueil, dont on peut attendre les plus grands services.

G. BOULIGAND.

H. PIÉRON, P. PICHOT, J. M. FAVERGE, J. STOETZEL. — Méthodologie psychotechnique, livre II du Traité de psychologie appliquée. — Presses Univ., Paris, 1952. Prix : 1.000 francs.

Les méthodes expérimentales et la psychométrie ayant été développées par H. Piéron, dans un exposé qui classe les tests et en dresse l'inventaire général, P. Pichot étudie les méthodes d'investigation de la personnalité ; puis J. M. Faverge montre le parti à tirer des méthodes des statistiques. Enfin, J. Stoetzel traite de la connaissance des **opinions,** dans le sens un peu spécial que ce terme a pris récemment en psychologie appliquée. Tous ces apports seront précieux pour les progrès d'une discipline qui acquiert chaque jour de l'importance.

G. BOULIGAND.

POUQUET (J.). — Les Déserts. — Un vol. in-16, 127 pages, 7 figures. Collection « Que sais-je ? », 1951. Presses Universitaires de France, .édit Prix : 150 francs.

Etant donné l'énorme extension du fait désertique, l'auteur a réalisé un tour de force en traitant les divers aspects de la question sous un si petit volume.

Après les éléments du climat, l'ouvrage nous donne des aperçus sur la morphologie, l'ancienneté de certains déserts, les sols. La seconde partie (la plus importante) est réservée aux relations de l'homme et des déserts : le peuplement des déserts, l'habitat, la circulation et la mise en valeur.

Cette mise en valeur partielle n'est pas une utopie. On connaît les exemples de l'U. R. S. S. et du Chili. Sur la bordure Nord du Sahara, le problème du Chott ech Chergui attire l'attention : il s'agit essentiellement de diriger vers une nappe souterraine les centaines de millions de mètres cubes d'eau de pluie, collectées puis évaporées dans de chott.

R. FURON.

VERNOTTE (P.). — Les aspects fondamentaux de la thermocinétique. — Publications scientifiques du Ministère de l'Air (notes techniques, n° 41), Paris, 1951.

Ce fascicule reproduit la partie théorique des Conférences que l'auteur a faites au Centre d'Etudes supérieures de Mécanique sur les mouvements de la chaleur. En trois chapitres clairs et précis, sont étudiées les données physiques essentielles sur lesquelles repose la théorie, les conséquences pratiques des lois qui en découlent dans les problèmes courants de laboratoire, enfin les méthodes de calcul qui permettent d'aborder leur étude.

Ce travail où se trouvent diverses applications des méthodes de Fourier sera consulté avec fruit par les techniciens de la chaleur.

M. PARODI.

VERNOTTE (Pierre). — Nouvelles recherches sur la sommation pratique des séries divergentes. Aperçus théoriques nouveaux. Préface de M. J. Pérès. Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'Air, n° 238. Un vol., 278 pp., Paris, 1950.

M. P. Vernotte complète dans ce volume les résultats de ses recherches sur la sommation des séries divergentes exposés dans un ouvrage antérieur (Théorie et pratique des séries divergentes). S'attachant au problème de la sommation numérique d'une série divergente que l'application d'un facteur de ralentissement convenable a ramenée à une série alternée dont les termes décroissent initialement en valeur absolue, M. Vernotte montre par l'examen de très nombreux exemples que l'achèvement de la sommation en général non réalisable par une méthode rigoureuse peut être dans bien des cas précisé et achevé par des procédés empiriques relativement simples.

G. PETIAU.

VOGE (J.). — Les hyperfréquences. Préface de A. Foch. Collection du C.N.E.T., Eyrolles, Paris, 1951.

Cet ouvrage consacré à l'étude des tubes et appareils de mesure utilisés dans la technique des hyperfréquences et à l'application de ces dernières aux télécommunications et au Radar, se présente comme la suite logique du livre rédigé par M. Rigal, publié récemment dans la même collection sur les hyperfréquences, et consacré plus particulièrement à la description des circuits et à l'étude de la propagation des ondes.

Le premier chapitre contient un exposé des bases théoriques auxquelles on se réfère systématiquement par la suite : équation du champ électromagnétique, équations du mouvement électronique, équations des échanges d'énergie.

Aux chapitres suivants (II à VII) sont étudiés dans le détail la triode en ondes ultra-courtes, le tube oscillateur à grille positive, les tubes à modulation de vitesse, le magnétron, le tube amplificateur à ondes progressives. Les mesures en ondes ultra-courtes font l'objet du septième chapitre.

Les deux derniers sont consacrés à l'étude des applications des ondes ultra-courtes aux télécommunications et à la détection électromagnétique.

L'exposition claire et précise qui caractérise cet ouvrage le désigne tout particulièrement comme guide à ceux qui travaillent la radiotélégraphie par hyperfréquences.

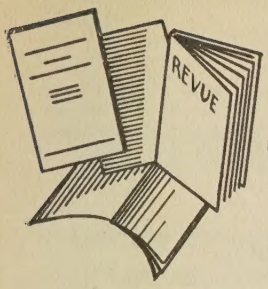
M. PARODI.

INTRODUCTION TO CRYSTAL OPTICS. — 1 vol. in-8° jésus, 124 p. Cooke, Troughton et Simms Ltd., éditeurs, York.

Ce livre est destiné à introduire et accompagner l'autre ouvrage de la même collection : « The Polarizing microscope ». L'auteur donne d'abord une introduction aux bases de la cristallographie : notions de symétrie, formes cristallines, systèmes cristallins, agrégats cristallins et macles, ainsi que les représentations classiques (projections stéréographiques et gnomoniques). Ceci permet d'introduire l'optique cristalline. L'auteur pose les définitions, sans démontrer l'existence des différents ellpsoïdes.

La majeure partie de l'ouvrage est consacrée à l'étude des méthodes d'observation des lampes cristallines, à la détermination des propriétés optiques des cristaux et à la préparation des lames minces pour les différents usages.

Au total, le livre est un guide sûr, intéressant et précis. Sa présentation est agréable, les figures sont soignées. Le livre est agrémenté de micophotographies qui, bien que sans couleurs, sont nettes et intéressantes.



LES REVUES

REVUES GÉNÉRALES EN LANGUE FRANÇAISE

ARCHIVES DES SCIENCES (Genève). Vol. 4, fasc. 5.

A. RITTMANN : Orogénèse et volcanisme.

ATOMES, n° 72, mars 1952.

R. MICHARD : Les éclipses de Soleil. — **R. JACQUOT** : Réalisations nouvelles et perspectives d'avenir en matière d'alimentation. — Relais hertzien en télévision. — Statistique et confort ménager. — Curieux mirages dans le Golfe de Californie.

ATOMES, n° 73, avril 1952.

Roger HEIM : Termites et Champignons. — Les Instruments d'optique auxiliaires de la science et de la technique. — L'évolution de la mortalité. — Métallisation industrielle sous vide. — **M. PÉCAUT :** Curare et curarisants en physiologie et en médecine.

LA NATURE, n° 3.203, mars 1952.

A. LAMING : Nouvelle découverte d'art préhistorique à Cabrerets : La Galerie de Combel. — **A. DESCARPENTRIES :** Les Scarabées Goliaths. — **P. OSTOYA :** L'étude morphologique de la cellule vivante. — Statistique des causes de décès en France. — **P. DEVAUX :** La trempe à haute fréquence et la soudure des plastiques. — **F. LOT :** Les stroboscopes musicaux. — **J. COMBRISSON :** Les lampes à éclair « photoflux ». — **F. APPELL :** Peintures et lutte contre le feu. — **R. M. MAY :** L'évolution des Tardigrades de la vie aquatique à la vie terrestre. — **A. SENET :** Le Ténia Echinocoque.

LA NATURE, n° 3.204, avril 1952.

R. LUTIGNEAUX : La Nature artiste : Les formes dans le monde végétal. — **R. RIGAL :** Les antennes radioélectriques. — **Y. SCHWOB :** Les membranes semi-perméables de cellulose régénérée. — Le Métro sur pneumatiques. — **P. OSTOYA :** Structure et mouvements du cytoplasme. — **P. FOURNIER :** La nouvelle vitamine rouge B12. — **P. ROUSSEAU :** Les nouveaux moyens de la physique solaire. — **M. SERRAN :** La Brucellose, maladie d'avenir. — **H. GUÉRIN :** L'acide sulfurique (suite).

REVUES GÉNÉRALES EN LANGUES ÉTRANGÈRES

EXPERIENTIA, vol. VIII, fasc. 3 et 4.

Ilse SCHWIDETZKY : Selektionstheorie und Rassenbildung beim Menschen. — **M. HAISSINSKY :** Etudes électrochimiques par la méthode des indicateurs radioactifs (électrolyses en solution extrêmement diluée). — **C. BARIGOZZI :** La struttura microscopica del nucleo durante il riposo.

ENDEAVOUR. volume XI, n° 41.

L'accès aux connaissances scientifiques. — **A. W. K. TISELIUS :** Progrès récents en chromatographie. — **P. F. HUTCHINS :** Missions scientifiques britanniques au Spitzberg. — **F. P. W. WINTERINGHAM :** Quelques aspects

biochimiques des insecticides. — **J. R. WHINFIELD** : Fibres obtenues de polyesters aromatiques. — **W. S. STILES** : La vision des couleurs : rétrospective. — **J. P. MAULE** : Elevage expérimental de bétail laitier pour les pays chauds. — **T. S. WHEELER** : William Higgins, chimiste (1763-1925).

« SCIENCES ET AVENIR », numéro 64, juin 1952.

— **L'homme peut vivre congelé plusieurs jours.** — Déjà utilisée en chirurgie, la létargie par le froid remplace le sommeil anesthésique.
— Qu'apporte à la science le magnifique exploit sportif du Kon-Tiki ?
— Le blé de la mer, nouvelle richesse de la Méditerrannée.
— Un cinquième du pétrole mondial se trouve dans l'Union Française.
— Normaliser : discipline de l'improvisation.
— Tapis-roulant ou skis supplanteront-ils demain le train d'atterrissage des avions ?

INDIAN JOURNAL OF PHYSICS AND PROCEEDINGS OF THE INDIAN ASSOCIATION FOR THE CULTIVATION OF SCIENCE, t. 24 et 33, n° 10, oct. 1950.

S. SREERAMAMURTY : Spectre d'absorption de l'anisol. — **P. TIRUVENGANNA BAO** : Spectre d'absorption des halogénures de thallium. — **B. M. BISHUI** : Sur l'origine de la fluorescence du diamant. — **K. C. LAL** : Vitesses ultrasoniques dans les solutions organiques I. — **R. K. DAS** : Un système stabilisateur automatique de pression pour une chambre de Wilson du type à diaphragme.

THE SCIENCES REPORTS OF THE RESEARCH INSTITUTES TOHOKU UNIVERSITY. — T. 1, n° 4.

K. HONDA, H. MASUMOTO, Y. SHIRAKAWA, T. KOBAYASHI : Sur la magnétostriction des alliages fer-aluminium et un nouvel alliage « Alfer ». — **H. ENDO** : Le creusement par corrosion de fer pur chromé par contact avec des substances non conductrices et sa prévention. — **T. OKAMURA, Y. MASUDA, S. KIKUTA** : Etude expérimentale sur la cinétique de l'agglomération des poudres métalliques à température constante, I. — **T. FUKUROI, S. TANUMA, S. TOBISAWA** : Résistance électrique, effet Hall, magnéto-résistance et effet Seebeck dans un film de tellure pur. — **T. FUKUROL, S. TANUMA, S. TOBISAWA** : Sur les propriétés électromagnétiques des cristaux uniques de tellure, I. — **N. TSUYA** : Sur la théorie de l'antiferromagnétisme. Le modèle de l'électron mobile. — **H. GOTO** et **Y. KAKITA** : Analyse catalyptique, VI. — **Y. KAKITA** : Etudes sur la recherche de l'Asenic, I, II. — **H. SATO** : Sur l'extension de l'hypothèse de plus proche voisinage dans la théorie du superréseau et les composés métalliques intermédiaires. — **T. SAITO** : L'absorption de l'azote par les alliages de fer fondu, I, II. — **M. WADA** : Etudes fondamentales sur les tensions interfaciales dans la flotation, II. — **M. KAMEDO** : Etudes fondamentales sur la dissolution de l'or dans les solutions de cyanures, III. — **S. NAWATA** : Sur la répartition de la température au voisinage d'un cylindre chauffé. — **S. TANAKA** : Sur l'écoulement du flux magnétique dans une plaque métallique pour une jauge d'épaisseur. — **M. NARUSE, S. TAKANASI** : Une étude sur les engrenages hélicoïdaux. — **T. OKAMURA, T. KIMURA** : Sur le polissage électrolytique des alliages de cuivre ; sur l'amélioration de l'imitation de l'or. — **T. OKAMURA, Y. TORIZUKA, H. KOJIMA** : Recherche sur la propriété ferromagnétique et la conductibilité électrique de la magnétite. — **T. OKAMURA, S. SIMOIZAKA, Y. TORIZUKA** : Sur la formation de semi-conducteurs de type spinelle. — **T. MATSUYAMA** : Application des coordonnées de Study de la droite à l'optique géométrique, I.

Dépôt légal 2e trimestre 1952 : n° 5302. Le Gérant : R. CONSTANS.
Imprimerie Jacques et Demontrond - Besançon. — 658 - 5-52.